Digitized by Google

FONDO PIZZOFALCONE

NAZIONALE
B. Prov.
BIBLIOTECA
VITT. EM. III
376
NAPOLI

BIBLIOTECA PROVINCIALE
Armadio XXX
Palchetto
Num.° d' ordine 37

105
4
15-18

B. Prov.
III
376-379

Digitized by Google

Digitized by Google

EXPOSITION ET HISTOIRE

DES

PRINCIPALES DÉCOUVERTES SCIENTIFIQUES MODERNES.

Digitized by Google

Paris. — Imprimerie de L. MARTINET, rue Mignon, 2.

Digitized by Google

11923

EXPOSITION ET HISTOIRE

DES

PRINCIPALES DÉCOUVERTES SCIENTIFIQUES MODERNES

PAR

LOUIS FIGUIER
Docteur ès sciences, docteur en médecine, agrégé de chimie
à l'École de pharmacie de Paris.

Quatrième édition.

BIBLIOTECA PROVINCIALE

TOME PREMIER.

Machine à vapeur.
Bateaux à vapeur. Chemins de fer.

BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

PARIS
LANGLOIS ET LECLERCQ, RUE DES MATHURINS-SAINT-JACQUES, 10. | VICTOR MASSON, PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 17.
MDCCCLV.

Les éditeurs se réservent le droit de traduction.

Digitized by Google

Le rôle des sciences dans la société a subi, depuis le commencement de notre siècle, une transformation remarquable. Étudiées par un très petit nombre d'hommes, enfermées dans un cercle étroit de faits, et ne trouvant dans les circonstances ordinaires de la vie que de rares applications, les sciences formaient autrefois comme un domaine à part où s'agitaient, loin des yeux du vulgaire, quelques discussions théoriques sans rapport et sans liaison directe avec les intérêts communs. Les conditions sont tout autres aujourd'hui. Cultivée par un nombre immense d'esprits, embrassant toute la sphère des réalités qui nous entourent, la science a créé autour de nous un monde de merveilles. Par les améliorations qu'elle a introduites dans les conditions matérielles de la vie, par les se-

cours de toute nature qu'elle nous apporte chaque jour, elle nous touche maintenant par tous les côtés à la fois, elle se mêle de plus en plus à nos intérêts, elle fait presque partie de notre existence. Aussi l'utilité des notions scientifiques est-elle aujourd'hui universellement sentie ; chacun recherche avec empressement ce qui peut le familiariser avec un tel ordre de connaissances.

C'est pour répondre à ce besoin si marqué et si légitime, que l'auteur de ce livre a eu la pensée de faire connaître au public, par une série de Notices scientifiques, les découvertes les plus importantes qui ont signalé notre siècle. Il lui a paru que la méthode historique, combinée avec les formes ordinaires de l'exposition, était le système le plus convenable à suivre pour la rédaction de ces Notices. Les avantages d'un plan aussi simple, l'intérêt évident que doivent éveiller dans l'esprit du lecteur l'histoire des efforts successifs de l'esprit humain, et la connaissance des routes qu'il a suivies pour s'élever aux grandes vérités qui font sa gloire, enfin la certitude de faciliter ainsi à chacun l'intelligence des théories et des faits, tout encourageait l'auteur à adopter un mode d'exposition dont on a tiré si peu de parti jusqu'à ce jour. Rechercher l'origine de chacune des principales inventions scientifiques modernes, raconter ses progrès et ses développements successifs, exposer son état actuel et les principes sur lesquels elle est fondée, tel est donc le double objet que l'on se propose dans ce livre.

L'histoire des progrès de l'esprit humain dans la voie

Digitized by Google

scientifique est sans aucun doute aussi riche en intérêt, aussi féconde en enseignements qu'aucune autre partie de l'histoire générale. Mais les documents qui consacrent le souvenir de ces faits, épars dans un grand nombre de recueils peu connus, ou disséminés dans des publications éphémères, sont difficiles à rassembler. Cette œuvre de recherches patientes, j'ai essayé de l'accomplir pour le petit nombre de sujets auxquels j'ai dû me limiter. Lorsque l'utilité des travaux de ce genre sera mieux appréciée qu'elle ne l'est encore, d'autres écrivains compléteront cette tâche en embrassant l'ensemble tout entier des conquêtes scientifiques de notre époque, et ainsi seront sauvés de l'oubli des monuments précieux qui seront un jour les vrais titres de gloire de l'humanité.

L'*Histoire des découvertes scientifiques modernes* s'adresse spécialement à cette classe si nombreuse de personnes qui, ne possédant sur les sciences aucunes notions positives, désirent cependant être initiées à leurs principes, en ce qui touche au moins les inventions dont les résultats frappent les yeux chaque jour. Aussi la clarté a-t-elle été ma préoccupation constante. Instruire sans fatigue, dépouiller la science et son histoire des formes arides qui sont comme consacrées dans nos traités classiques, tel est le but que je me suis efforcé d'atteindre. Il y a toujours dans une question scientifique, même la plus complexe, une partie accessible à tous les esprits; c'est à ce côté que je me suis permis de prêter quelquefois un certain développement.

Quel que soit le jugement que l'on doive porter sur les procédés d'exposition suivis dans cet ouvrage, je tiens à constater ici que je n'ai rien sacrifié de l'exactitude ni de la rigueur qui sont le caractère et le véritable ornement des faits scientifiques. Si les savants devaient porter leurs regards sur ces pages, pour eux sans importance, ils reconnaîtraient, je l'espère, que la science ne s'est ni rabaissée ni dégradée entre mes mains.

AVERTISSEMENT DES ÉDITEURS

SUR LA QUATRIÈME ÉDITION.

Quatre éditions de cet ouvrage, publiées en quatre ans, sont la meilleure preuve que l'on puisse fournir de sa valeur et de son utilité. Répondant à l'un des besoins de notre époque, exécuté avec tout le soin et toute la rigueur désirables, ce livre a fait promptement son chemin dans le monde scientifique et littéraire. En France, comme à l'étranger, il est aujourd'hui rangé parmi les publications reconnues les plus utiles, parmi les œuvres devenues classiques. Il inspire à la jeunesse le goût des études scientifiques; il fournit aux savants des renseignements précieux sur une foule de questions; il initie, avec charme, les gens du monde à ces grandes découvertes dont la connaissance est devenue indispensable à tout esprit cultivé.

Dans les éditions successives qui ont été faites de cet ouvrage, l'auteur a toujours mis un soin particulier à enregistrer les faits nouveaux et les perfectionnements importants qui se sont produits dans les

diverses inventions qu'il a considérées. On pourrait même, en comparant ces éditions, suivre pour ainsi dire la trace des progrès qui ont marqué chacune des grandes découvertes scientifiques étudiées par l'auteur.

L'édition que nous publions aujourd'hui ne le cède point, sous ce rapport, aux précédentes. L'Exposition universelle, qui a rassemblé à Paris le tableau et comme le résumé visible de l'état présent des sciences dans toutes les contrées du monde, a donné à l'auteur l'occasion de recueillir, sur différents sujets, des renseignements complémentaires dont il a enrichi son ouvrage. Le plan de ce livre est, en effet, conçu de telle manière, que chacune des modifications, chacun des perfectionnements apportés à une découverte scientifique, trouve sa place dans la Notice qui lui est consacrée sans en déranger l'ensemble.

Voici un aperçu des additions principales faites à cette quatrième édition :

Dans la *Machine à vapeur*, l'histoire des curieuses tentatives de Dallery pour appliquer l'hélice à la navigation;

Dans la *Photographie*, l'examen des procédés relatifs au *collodion ;*

Dans la *Télégraphie électrique*, l'histoire et la description des deux télégraphes sous-marins qui ont été établis récemment entre la France et l'Algérie, et de Varna à Sébastopol à travers la mer Noire; l'exposé du projet de télégraphe sous-marin transatlantique entre l'Amérique et l'Irlande ;

Dans la *Galvanoplastie*, les belles applications faites récemment des procédés électro-chimiques à la typographie et à la gravure ;

Dans l'*Éthérisation*, l'analyse et les résultats de la discussion importante qui s'est élevée au sein de diverses sociétés savantes, sur les dangers de l'inhalation du chloroforme, et les essais tentés en Angleterre et en France concernant l'anesthésie locale.

Nous passons sous silence beaucoup d'additions et de modifications accessoires qui ont été faites à diverses parties de l'ouvrage, pour tenir compte des progrès de la science et des enseignements de la pratique.

Qu'il nous soit permis de faire remarquer enfin que le livre a beaucoup gagné sous le rapport de l'exécution matérielle.

Paris, 10 septembre 1855.

Digitized by Google

Digitized by Google

EXPOSITION ET HISTOIRE

DES

PRINCIPALES DÉCOUVERTES

SCIENTIFIQUES MODERNES.

LA MACHINE A VAPEUR.

CHAPITRE PREMIER.

Notions concernant la vapeur dans l'antiquité et le moyen âge.

La plupart des écrivains qui se sont occupés de l'histoire de la machine à vapeur ont placé dans l'antiquité le berceau de cette invention. Cette opinion nous semble inadmissible. La machine à vapeur est d'origine moderne, et c'est vainement que l'on essaierait de chercher dans les vagues traditions scientifiques de la Grèce et de Rome la trace des idées qui présidèrent à sa création. La science que nous désignons aujourd'hui sous le nom de *physique* n'existait pas chez les anciens. Quelques connaissances dues au hasard, ou introduites par la pratique des arts vulgaires, résument pour nous toute la physique des Grecs. C'est que l'art d'observer, le

secret d'étudier un fait en l'isolant, par une opération de l'esprit, de tout ce qui l'entoure, fut à peu près ignoré des anciens. La vague et poétique imagination des philosophes de la Grèce avait entraîné la science naissante dans une voie diamétralement opposée à celle de ses progrès. Au lieu d'étudier la marche naturelle des faits qui tombent sous les sens, on voulait pénétrer la nature intime des phénomènes et remonter jusqu'à la secrète essence de leurs causes. L'importance et la grandeur des faits attiraient surtout l'attention; on s'attachait obstinément à poursuivre des problèmes destinés à rester à jamais insolubles; on construisait l'univers avant de l'avoir entrevu. Cette philosophie, qui arrêta dès le début la marche des sciences physiques, retarda de vingt siècles leur création. Placer au sein d'une pareille époque l'origine de la découverte la plus importante des temps modernes, c'est donc fausser ouvertement les traditions de l'histoire, et le rapide examen des faits montrera sur quelles bases futiles cette opinion s'était fondée.

C'est à un écrivain grec d'Alexandrie, Héron, qui vivait cent vingt ans avant l'ère chrétienne, que la plupart des auteurs modernes rapportent, avec Robert Stuart et Arago, « l'honneur d'avoir inventé et construit la première machine à vapeur connue (1). »

Le petit traité de Héron, intitulé *Spiritalia*, renferme les quelques lignes qui ont mérité au philosophe grec d'être proclamé le premier inventeur d'une machine construite dix-huit siècles après lui. Ce livre était loin de prétendre à une destinée si brillante; ce n'est autre chose, en effet, que ce que nous nommerions aujourd'hui un recueil de physique amusante. Il renferme la description d'une série d'appareils destinés à manifester certains effets curieux de l'air et de l'eau; les ma-

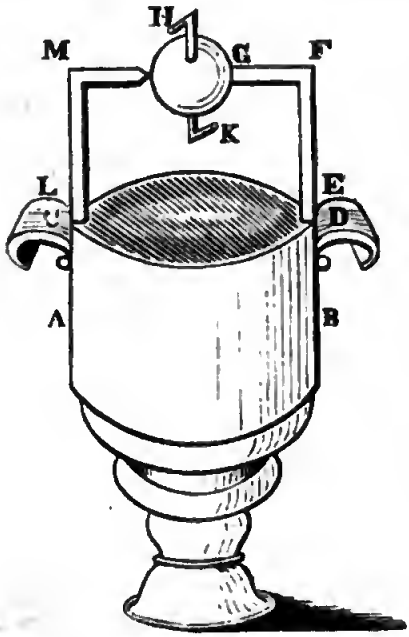
(1) Robert Stuart, *Histoire descriptive de la machine à vapeur*, p. 32.

tières y sont exposées sans ordre et sans liaison logique; aucune explication, aucune théorie ne s'y trouve jamais invoquée. Pour que nos lecteurs puissent en juger par eux-mêmes, nous rapporterons les divers passages sur lesquels on s'appuie pour accorder à Héron la première idée de la machine à feu.

Le quarante-cinquième appareil décrit par le philosophe grec se compose d'une marmite contenant de l'eau et fermée de toutes parts, à l'exception d'une ouverture donnant accès à un tube vertical ouvert. Dans l'intérieur de ce tube on place une petite boule; par l'action de la chaleur, cette boule est projetée au dehors. M. Lalanne, dans un travail rempli d'érudition, publié, en 1852, dans l'*Encyclopédie moderne*, a donné à cet appareil de Héron le nom de *marmite à vapeur chassant un projectile.* Nous l'appellerions plus simplement *marmite soulevant son couvercle*, et nous n'avons pas besoin d'ajouter que la découverte d'un tel fait n'appartient pas à Héron, mais bien au premier homme qui, assis au coin de son foyer, vit le couvercle de la marmite où cuisaient ses aliments se soulever par l'effort de la vapeur d'eau. Si les titres du philosophe grec à la découverte de la machine à vapeur ne reposaient pas sur des fondements plus sérieux, il aurait à soutenir avec quelque petit-fils d'Adam une discussion de priorité.

Dans les figures suivantes, Héron décrit divers mécanismes qui permettent, au moyen de l'air comprimé ou dilaté par l'action du feu, de faire sonner la trompette d'un automate, siffler un dragon de bois, ou tourner en rond de petits bonshommes. Nous ne dirons rien de tous ces appareils, qui ne sont que des variations sans fin du célèbre instrument connu et expérimenté dans les cours publics sous le nom de *fontaine de Héron.* Nous arriverons tout de suite au passage célèbre où se trouve décrit le petit appareil que l'on considère aujourd'hui comme le premier modèle de la machine à vapeur. Voici le texte original du philosophe grec :

« *Faire tourner une petite sphère sur son axe au moyen d'une marmite chauffée.* — Soit AB une marmite contenant de l'eau et soumise à l'action de la chaleur. On la ferme au moyen d'un couvercle CD que traverse le tube recourbé EFG dont l'extrémité G pénètre dans la petite sphère creuse HK suivant un diamètre. A l'autre extrémité du diamètre est placé le pivot qui est fixé sur le couvercle CD au moyen de la tige pleine LM. De la sphère sortent deux tubes placés suivant un diamètre (à angle droit sur le premier), et recourbés à angles droits en sens inverse l'un de l'autre. Lorsque la marmite sera échauffée, la vapeur passera par le tube EFG dans la sphère, et, sortant par les tubes infléchis (à angles droits), fera tourner la sphère de la même manière que les automates qui dansent en rond (1). »



Tel est l'appareil que Arago nous signale comme « le premier exemple de l'emploi de la vapeur comme force motrice (2). » Est-il nécessaire de dire qu'en décrivant ce joujou qui tourne *comme des automates qui dansent en rond*, le philosophe d'Alexandrie ne le présentait nullement comme pouvant devenir l'origine d'une force motrice? Toutes les expériences exposées dans son traité ne sont que des tours de physique amusante, et l'auteur ne perd pas son temps à étudier les causes des phénomènes qu'il décrit. Si l'on voulait d'ailleurs rechercher quelle interprétation théorique Héron

(1) *Heronis Alexandri Spiritalia* (*Veterum mathematicorum opera*, p. 202).

(2) *Notice sur la machine à vapeur* (*Annuaire du Bureau des longitudes*, 1837, p. 226).

accordait à ce fait, on ne pourrait, d'après son texte même, le rapporter qu'à la seule action de la chaleur. Il dit, en effet, dans l'énoncé du problème, « faire tourner une petite sphère au moyen d'une marmite chauffée, » et non « au moyen de la vapeur d'eau. » Héron ne pouvait ici faire jouer aucun rôle à la vapeur d'eau, par cette raison fort simple que l'existence même de la vapeur était inconnue de son temps. Avec tous les philosophes de son époqué, il ne voyait dans la vaporisation d'un liquide que sa transformation en air, et dans son livre il ne fait jamais allusion qu'aux effets mécaniques produits par l'air comprimé ou dilaté par le feu. Aussi les physiciens qui sont venus après lui n'ont-ils expliqué le phénomène de la rotation de sa petite sphère que par l'écoulement et la réaction de l'air chaud, qui provenait lui-même de la transformation de l'eau en air. On trouve, dans une autre partie de l'ouvrage de Héron, la description d'un petit appareil en tout semblable au précédent, et dans lequel seulement un courant d'air chaud remplace le courant de vapeur.

Le jouet décrit par Héron d'Alexandrie ne nous semble donc mériter à aucun titre l'honneur de figurer dans l'histoire de la machine à vapeur. L'existence même de la vapeur d'eau étant ignorée des anciens, il est difficile d'admettre que l'on ait pu à cette époque imaginer une machine fondée sur la connaissance des propriétés de cet agent (1).

(1) Cette erreur de l'ancienne physique sur la transformation de l'eau en air par l'action de la chaleur se prolonge d'ailleurs bien longtemps après le philosophe d'Alexandrie. Le célèbre architecte romain Vitruve, contemporain d'Auguste, dit en parlant de l'*éolipyle*, appareil très anciennement connu : « Les éolipyles sont des boules d'airain qui sont creuses et qui n'ont qu'un très petit trou par lequel on les remplit d'eau. Ces boules ne poussent aucun air avant d'être échauffées; mais étant mises devant le feu, aussitôt qu'elles sentent la chaleur, elles envoient un vent impétueux vers le feu, et ainsi enseignent par cette petite expérience des vérités importantes sur la nature de l'air et des vents. » Ces vues erronées étaient encore professées au XVIe siècle. Cardan, par exemple, s'exprimait

On ne sera pas surpris, d'après les idées inexactes qui ont régné si longtemps sur le phénomène de la vaporisation des liquides, de voir des siècles entiers s'écouler sans apporter la moindre notion sur les effets mécaniques de la vapeur. Cette circonstance explique la pénurie d'arguments et de faits dans laquelle se sont trouvés les écrivains qui ont voulu placer à une époque reculée l'origine de l'invention qui nous occupe. Pour montrer à quelles pauvres ressources on en est réduit sous ce rapport, il nous suffira de rappeler l'anecdote de l'historien byzantin, Agathias, que l'on a coutume d'invoquer à cette occasion. M. Lalanne, dans le travail cité plus haut, donne, d'après M. Léon Rénier, la traduction suivante de ce passage de l'ouvrage d'Agathias :

« Il y avait à Byzance un homme appelé Zénon, inscrit sur la liste des avocats, distingué d'ailleurs, et très bien avec l'empereur. Il était voisin d'Anthémius, au point que leurs deux maisons paraissaient n'en faire qu'une et être comprises dans les mêmes limites. A la longue, une mésintelligence éclata entre eux, soit pour une fenêtre ouverte contrairement à l'usage, soit pour un bâtiment dont la hauteur excessive interceptait le jour, soit enfin pour quelqu'une de ces nombreuses causes qui ne manquent jamais d'amener des dissensions entre très proches voisins.

» Anthémius, ayant eu le dessous devant les tribunaux, ainsi qu'il devait s'y attendre, ayant pour adversaire un avocat, et n'étant pas capable de lutter d'éloquence avec lui, imagina pour se venger le tour suivant, que lui fournit l'art qu'il cultivait.

» Zénon possédait un appartement très élevé, très large, très beau et très orné, où il avait l'habitude de recevoir ses amis et

ainsi : « Vitruve apprend à faire des vases qui produisent du vent : ils sont ronds et fermés de toutes parts, à la réserve d'un seul trou qui est muni d'un tuyau très étroit ; on les remplit d'eau et on les présente au feu ; le liquide se transforme en air, s'échappe par le tuyau, et augmente l'ardeur du brasier. » Au XVIIe siècle, Claude Perrault, dans sa traduction de Vitruve, reproduit cette théorie. A la même époque, l'illustre physicien Boyle continuait à admettre la transformation de l'eau en air par le fait de la chaleur.

de traiter ceux qui lui étaient le plus chers. Le rez-de-chaussée de cet appartement appartenait à Anthémius, de sorte que le plancher intermédiaire servait de toit à l'un et de sol à l'autre. Anthémius fit placer dans ce rez-de chaussée de grandes chaudières pleines d'eau, qu'il entoura extérieurement de tuyaux de cuir assez larges à leur base pour embrasser entièrement le bord des chaudières, mais diminuant ensuite de diamètre comme une trompette et se terminant dans des proportions convenables. Il fixa les bouts de ces tuyaux aux poutres et aux planches du plafond, et les y attacha avec soin ; de sorte que l'air qui y était introduit avait le passage libre pour s'élever dans l'intérieur vide des tuyaux et aller frapper le plafond à nu, dans l'endroit où il lui était permis d'arriver, et qui était entouré par le cuir, mais ne pouvant s'écouler ni s'échapper au dehors. Ayant donc fait secrètement ces préparatifs, Anthémius alluma un grand feu sous les chaudières et y produisit une grande flamme, et l'eau s'échauffant bientôt et entrant en ébullition, il s'en éleva beaucoup de vapeur épaisse et fumeuse qui, ne pouvant s'échapper, monta dans les tuyaux et s'y élança avec d'autant plus de violence qu'elle était resserrée dans un plus étroit espace, jusqu'à ce que frappant continuellement le plafond, elle l'ébranla tout entier, au point de faire légèrement trembler et crier les bois. Or, Zénon et ses amis furent troublés et épouvantés, et ils s'élancèrent dans la rue en criant et poussant des exclamations, et Zénon, s'étant rendu au palais de l'empereur, demandait aux personnes de sa connaissance ce qu'elles savaient du tremblement de terre, et s'il ne leur avait pas causé quelque dommage. »

D'après nos connaissances actuelles sur les propriétés de la vapeur d'eau, cette expérience, telle qu'elle est rapportée par Agathias, ne pouvait en aucune manière produire les résultats qui viennent d'être rapportés. Aussi M. de Montgéry, qui a publié en 1823, dans les *Annales de l'industrie*, une série d'articles en vue de rechercher l'origine de la machine à vapeur dans l'antiquité, n'admet-il point que le mécanisme décrit par Agathias soit le même que celui qu'employa Anthémius : « L'extrémité évasée des tuyaux, dit M. de Montgéry, devait être placée sous les poutres, et non au delà ; elle devait s'ou-

vrir tout à coup au moyen d'une soupape ou d'un robinet ; alors seulement il y aurait eu une vive secousse (1). » Par malheur, l'historien de Byzance ne fait mention ni de robinet ni de soupape; il est donc plus simple de regarder comme apocryphe l'aventure romanesque d'Agathias.

C'est avec un sentiment semblable qu'il faut accueillir l'assertion émise par Robert Stuart en ces termes laconiques : « En 1563, un certain Mathésius, dans un volume de sermons intitulé *Sarepta*, parle de la possibilité de construire un appareil dont l'action et les propriétés paraissent semblables à celles de la machine à vapeur moderne (2). »

Ce Mathésius, d'après M. Lalanne, était maître d'école à Joachimstall, ville de Bohême autrefois célèbre par ses mines d'argent, de cuivre et d'étain. Son ouvrage, imprimé à Nuremberg en 1562, n'est qu'un livre de prières : c'est le *Sermonnaire des mines*. Le passage auquel l'écrivain anglais fait allusion est ainsi conçu :

« Au moyen de l'eau, du vent et du feu, et moyennant de beaux mécanismes, que l'eau et le minerai s'élèvent et soient mis en mouvement de plus grandes profondeurs, afin que la dépense soit diminuée et que ces trésors cachés puissent être d'autant plus tôt percés et mis au jour... Vous, mineurs, glorifiez dans les chants des mines l'excellent homme qui fait monter aujourd'hui le minerai et l'eau sur le Platten au moyen du vent, et comment maintenant on élève l'eau au jour avec le feu. »

Il faut une bonne volonté bien prononcée pour trouver dans le texte de cette exhortation évangélique l'indication d'un appareil « dont l'action et les propriétés paraissent semblables à celles de la machine à vapeur moderne. » Il pouvait exister dans les mines diverses machines mues par le vent ou par l'air

(1) *Annales de l'industrie nationale et étrangère*, t. IX, p. 70.
(2) Robert Stuart, *Histoire descriptive de la machine à vapeur*, p. 32.

échauffé; mais rien n'indique, dans la pieuse invocation de Mathésius, l'allusion, même la plus voilée, à une machine agissant au moyen de l'eau réduite en vapeurs.

Robert Stuart ajoute : « Trente ans après, dans un livre imprimé à Leipsick en 1597, on trouve la description de ce qu'on appelle un éolipyle, que l'on peut, dit-on, utiliser en l'adaptant à un tournebroche. » L'éolipyle, appareil connu depuis une époque très reculée, a beaucoup attiré l'attention des physiciens du moyen âge, qui ignoraient cependant la cause des effets curieux qu'il produit, et s'imaginaient que l'eau s'y transformait en air. Il n'est donc pas impossible que l'insignifiante et pauvre application dont parle Robert Stuart ait pu être réalisée, bien qu'il ne nous donne aucune indication positive sur l'ouvrage qui la mentionne.

Arago et tous les écrivains français qui, s'occupant après lui de l'histoire de la machine à vapeur, se sont bornés à reproduire ses opinions, admettent que la première expérience relative aux effets mécaniques de la vapeur d'eau a été faite au commencement du XVIIe siècle, par un gentilhomme de la chambre de Henri IV, nommé David Rivault, seigneur de Flurance, précepteur de Louis XIII.

« Pour rencontrer, dit Arago, après les premiers aperçus des philosophes grecs, quelques notions utiles sur les propriétés de la vapeur d'eau, on se voit obligé de franchir un intervalle de près de vingt siècles. Il est vrai qu'alors des expériences précises, concluantes, irrésistibles, succèdent à des conjectures dénuées de preuves.

» En 1605, Flurance Rivault, gentilhomme de la chambre de Henri IV et précepteur de Louis XIII, découvre, par exemple, qu'une bombe à parois épaisses, et contenant de l'eau, fait tôt ou tard explosion quand on la place sur le feu *après l'avoir bouchée*, c'est-à-dire lorsqu'on empêche la *vapeur* d'eau de se répandre librement dans l'air à mesure qu'elle s'engendre. La puissance de la vapeur d'eau se trouve ici caractérisée par une épreuve nette et

susceptible jusqu'à un certain point d'appréciations numériques ; mais elle se présente encore à nous comme un terrible moyen de destruction (1) »

Arago nous dit encore, à propos de l'expérience du marquis de Worcester, qui fit, dit-on, éclater un canon par l'action de la vapeur :

« Cette expérience était déjà connue en 1605, car Flurance Rivault dit expressément que les éolypiles crèvent avec fracas quand on empêche la vapeur de s'échapper. Il ajoute même : « L'effet de la raréfaction de l'eau a de quoi épouvanter les plus » assurés des hommes (2). »

La meilleure manière de reconnaître si Arago a exactement traduit la pensée de l'auteur des *Éléments d'artillerie*, c'est évidemment de recourir à l'ouvrage lui-même. Le passage auquel Arago fait allusion se trouve au livre III, dans lequel Flurance Rivault cherche à établir la nature des substances qui peuvent entrer dans la composition de la poudre. Voici textuellement ce passage :

« *Conjecturer les ingrédiens de la bonne poudre à canon.* — Il est certain que cherchans une prompte raréfaction, il faut l'avancer par la chaleur ; car il n'y a point en la nature de plus agissante qualité. Le froid agit ; mais il resserre. Les deux autres, sécheresse et humidité, n'ont que fort peu d'action et plustôt nous doivent servir de matière et de patient en ce dessein que d'agent. Voyons du froid s'il nous est propre. *L'eau humide qui se convertit en air se raréfie*, et en est la raréfaction suivie de violence. Voyez-vous ces instrumens d'airain globeux et creux, qui ont un trou par lequel on verse l'eau. Les Grecs les ont nommés *portes d'Eole*, parce que si vous les approchez du feu, le métal en est eschauffé, et l'eau quand et quand, *laquelle peu à peu se convertit en air par*

(1) *Éloge historique de James Watt* (*Annuaire du Bureau des longitudes*, 1829, p. 281).

(2) *Notice sur la machine à vapeur* (*Annuaire du Bureau des longitudes*, 1837, p. 240).

l'action de la chaleur, et estant faicte rare et vent, elle sort par le trou avec force, et après ravive le feu par son souffle, qui le premier luy avoit donné estre. Il y a quelque apparence que si ce nouvel aër ne trouvoit lors issue libre par la petite porte, qu'il briseroit le vaisseau pour se donner jour : *ainsi que l'humidité de la chastaigne aéréfiée par le feu, la faict esclater rudement, pour se donner libre estendue. Que si la furie de cet esclat n'a d'estonnement que pour les enfans, l'effect de la raréfaction de l'eau a de quoy espouvanter les plus asseurés hommes en l'accident des tremblemens de terre.* L'eau coulée ès cavernes de la terre au printemps principalement et en automne, y est eschauffée, soit par les feux qu'elle y rencontre souvent, soit par les chaudes exhalaisons qui sortent des soupiraux terrestres : tant que raréfiée et convertie en aër, le lieu qui la contenoit auparavant n'est plus capable d'embrasser si longues et si larges dimensions : tellement que pressée de s'estendre et violentée par cet hoste devenu puissant, la terre s'entr'ouvre pour lui faire jour avec un desbriz espouvantable. Il y a un million d'autres effects de cette raréfaction d'humidité, qui nous pourroyent guider à l'exécution de quelque violence. Mais nous devons y considérer qu'elle ne se fait à coup : ains avec temps, et que la matière humide ne s'exhalle pas toute à la fois, mais peu à peu. Or nous cherchons de la promptitude et un effect momentané, principalement pour ce qui est de l'action du canon. Car ce n'est pas qu'èz autres artifices du feu nous ne nous servons quelquefois d'humides, quand nous en voulons faire durer la violence. Mais cela n'est pas de ce lieu. Il faut donc nous attacher à la sécheresse, et à un subjet sec qui ait peu de résistance contre la chaleur, et soit amy du feu. Car l'humide luy résiste : au contraire le sec est de sa nature mesme. Or ny l'air qui est humide et chaud, ni l'eau qui est froide et humide, ne nous peuvent donner ce corps sec que nous cherchons. L'eau en est la plus incapable, tellement que toutes choses humides et froides doivent être bannies de notre poudre, etc. (1). »

Quand on a lu ce morceau confus, empreint des idées surannées de l'ancienne physique, et tout rempli des lieux communs et des divagations qu'elle affectionne, on se demande

(1) *Les éléments de l'artillerie concernant tant la théorie que la pratique du canon*, par le sieur de Flurance Rivault. 1658, p. 150.

comment Arago a pu l'honorer d'une interprétation aussi large. Rivault ne parle jamais de vapeur d'eau, comme on le lui fait dire, il parle seulement, d'après les opinions scientifiques de son époque, de la conversion de l'eau en air. Il ne fait aucune allusion à une expérience qu'il aurait exécutée, et il ne nous dit rien de cette « bombe à parois épaisses, et contenant de l'eau, qui fait tôt ou tard explosion quand on la place sur le feu après l'avoir bouchée. » Il parle tout simplement de châtaignes « dont l'esclat n'a d'estonnement que pour les enfants ; » et s'il nous dit que « l'effect de la raréfaction de l'eau a de quoy espouvanter les plus asseurés hommes, » il a soin d'ajouter « en l'accident des tremblemens de terre, » complément explicatif qui ramène le fait à sa véritable expression. Et convenez que cet *accident des tremblements de terre* et cette *furie des châtaignes* sont bien faits pour réduire à sa juste valeur la prétendue découverte du précepteur de Louis XIII et pour affaiblir ses droits à la reconnaissance de la postérité.

Ainsi jusqu'à la fin du XVIe siècle, aucune notion ne fut acquise concernant l'application des effets mécaniques de la vapeur d'eau. Ce fait ne surprend point, quand on se rappelle que toutes les connaissances que nous résumons aujourd'hui sous le nom de physique étaient enveloppées à cette époque de l'obscurité la plus profonde. La création des sciences positives pouvait seule apporter les faits précis qui devaient servir de point de départ à la découverte des effets mécaniques de la vapeur d'eau et déterminer son emploi comme force motrice.

CHAPITRE II.

Création de la méthode scientifique. — Bacon, Descartes et Galilée. — Salomon de Caus, sa vie et ses écrits ; sa prétendue découverte de la machine à vapeur.

C'est de la fin du XVIe siècle que date la création des sciences physiques; elles n'avaient jusque-là existé que de nom. Depuis la chute de l'empire des Arabes, l'école d'Aristote courbait sous son joug l'intelligence humaine. Le syllogisme pour tout instrument de recherches, de prétendues causes absolues pour point de départ et pour but, et pour règle suprême la parole du maître; le témoignage des sens récusé, les mystères religieux liés aux faits scientifiques, et tout ce bizarre assemblage de conceptions stériles qui méritent à peine l'honneur d'être rapportées, arrêtaient depuis dix siècles la marche de l'esprit humain. C'est en vain que, par intervalles, quelques hommes de génie avaient essayé de lutter contre le despotisme de l'autorité traditionnelle, et fait briller aux yeux du monde les vrais principes de la philosophie naturelle. Ramus, Roger Bacon, Jordano Bruno, Cardan et plusieurs autres courageux réformateurs, avaient expié par la persécution ou la mort le crime d'avoir pensé. Ce honteux et déplorable empire devait enfin avoir son terme. La réformation religieuse accomplie par Luther avait fondé la liberté de conscience; les premières lueurs de l'émancipation politique commençaient à se lever sur les nations de l'Europe : une transformation semblable ne tarda pas à s'opérer dans les sciences, et compléta la révolution salutaire

qui devait mettre l'humanité en possession de ses droits. C'est alors qu'apparaissent à la fois sur la scène du monde trois hommes destinés à jeter dans l'Europe régénérée les bases de l'édifice nouveau des connaissances humaines : Bacon en Angleterre, Descartes en France, et Galilée en Italie, sont les auteurs de cette révolution mémorable. Divers de pays, d'esprit et de caractère, ils attaquent à la fois, selon les formes et les aptitudes particulières de leur génie, l'échafaudage antique des doctrines qui asservissaient l'esprit humain; leurs hardis et salutaires efforts le renversent à jamais, et élèvent sur ses débris une philosophie nouvelle. Donnant à la fois le précepte et l'exemple, ils enseignent au monde la véritable méthode à suivre dans les recherches scientifiques, et marquent par leurs découvertes les premiers pas de la science naissante.

La révolution scientifique accomplie par les préceptes de Bacon, les découvertes de Galilée et les écrits de Descartes, embrasse une période bien tranchée. Commencée dans les dernières années du XVIe siècle, à l'époque des premiers travaux de Galilée, elle se termine vers le milieu du siècle suivant, en 1642, à la mort de ce savant. C'est seulement alors que le triomphe de la philosophie nouvelle est définitivement établi, et que la science, fondée désormais sur une base inébranlable, peut marcher sans entraves dans les voies de la vérité. Mais pendant l'intervalle d'un demi-siècle que cette période mesure, la science a péniblement à lutter contre les restes de l'esprit philosophique du passé, et elle n'est pas toujours victorieuse. Pendant longtemps encore l'ombre des vieilles erreurs enveloppe les conceptions des savants. Une métaphysique obscure embarrasse les théories de la science; les idées religieuses et morales continuent de se mêler aux explications physiques; on raisonne sur le plein et le vide, sur les qualités essentielles et sur les qualités accidentelles des corps; on disserte sur le sec et l'humide, sur le nombre et les propriétés des éléments; on

s'obstine à discuter stérilement l'essence intime des phénomènes ; on élève des hypothèses sans fin sur la nature du feu, sur la mixtion des éléments ; on prête à la nature des affections morales; on se perd, en un mot, dans la vaine subtilité des théories de la scolastique. Aussi l'expérience est-elle à peine invoquée, et quand on essaie d'y recourir, c'est toujours sur des sujets puérils ou ridicules que va s'exercer l'imagination des physiciens. On entreprend des recherches mécaniques pour expliquer les sons de la statue de Memnon, le jeu mystérieux de l'orgue du pape Sylvestre, ou le vol de la colombe d'Architas; on écrit des volumes pour découvrir les causes de la dissolution du veau d'or, ou pour savoir combien de milliers d'anges pourraient tenir, sans être pressés, sur la pointe d'une aiguille.

C'est au milieu de cette période à demi barbare de l'histoire des sciences, lorsque rien de ce qui ressemble à la physique n'existait et ne pouvait exister encore, que tous les écrivains se sont accordés jusqu'ici à placer la découverte de la machine à vapeur. En France, c'est à Salomon de Caus, architecte et ingénieur obscur, qui a écrit en 1615 son livre : *Les raisons des forces mouvantes*, que l'on décerne l'honneur de cette invention. Il n'y a qu'une voix en Angleterre pour l'attribuer au marquis de Worcester, politique brouillon et mécanicien contestable qui vivait sous les derniers Stuarts. Enfin les écrivains italiens revendiquent pour leur pays la première invention de la machine à feu, en invoquant, à ce sujet, les titres du physicien Porta, qui écrivait en 1605, ou ceux de l'architecte Giovanni Branca, qui a publié à Rome, en 1629, un ouvrage sur les machines.

Dans une histoire sérieuse de la machine à vapeur, tous ces noms devraient être écartés. On ne peut avoir songé à construire une machine ayant pour principe la force élastique de la vapeur d'eau, à une époque où l'on confondait avec l'air

atmosphérique les fluides qui se dégagent des liquides en ébullition ; quand on ne possédait, sur les effets mécaniques de la vapeur, que ces notions confuses, acquises depuis des siècles par l'observation vulgaire, et ne se liant à aucune vue théorique ; lorsque les principales lois de l'hydrostatique étaient encore un mystère, lorsque les premiers linéaments de la physique générale étaient à peine tracés. Cependant, comme l'opinion contraire, établie sur l'autorité des noms les plus considérables de la science, jouit aujourd'hui d'un crédit universel, nous sommes tenu de l'examiner.

Les raisons des forces mouvantes avec diverses machines tant utiles que plaisantes aus quelles sont adjoints plusieurs desseings de grotes et fontaines, par Salomon de Caus, *ingénieur et architecte de Son Altesse palatine électorale*, tel est le titre de l'ouvrage qui renferme, dit-on, la description de la première machine à vapeur connue.

M. Baillet, inspecteur des mines, est le premier qui ait signalé, dans le livre, profondément inconnu jusque-là, de Salomon de Caus, un théorème relatif à l'action mécanique de l'eau échauffée, et qui ait prétendu trouver dans les dix lignes de ce théorème la première idée de la machine à vapeur (1). L'étrange procédé historique qui consiste à décerner à quelque écrivain obscur l'honneur de l'une des grandes inventions modernes, sans tenir aucun compte de l'état de la science à son époque, n'avait jamais été couronné d'un plus entier succès. Dans sa célèbre *Notice sur la machine à vapeur*, publiée pour la première fois en 1828, dans l'*Annuaire du Bureau des longitudes*, Arago a adopté et développé l'opinion émise par M. Baillet.

(1) *Notice historique sur les machines à vapeur, machines dont les Français peuvent être regardés comme les premiers inventeurs*, par M. Baillet, inspecteur divisionnaire au corps impérial des mines (*Journal des mines*, mai 1813, p. 321).

Appuyée sur l'autorité de l'illustre secrétaire de l'Académie des sciences, elle est aujourd'hui unanimement admise, et le pauvre ingénieur normand, qui ne s'attendait guère à tant d'honneur, est proclamé, d'un accord unanime, l'inventeur de la machine à feu. Laubardemont disait, au XVIIe siècle, qu'avec dix lignes de l'écriture d'un homme, il se chargeait de le faire pendre ; notre siècle, plus généreux, avec dix lignes ramassées dans le livre inconnu d'un écrivain obscur, voue sa mémoire à l'immortalité. Cependant de tels arrêts sont susceptibles de révision, et en ce qui concerne Salomon de Caus, c'est une tâche que nous essaierons de remplir.

Il est difficile de juger les écrits d'un savant sans connaître les principaux événements de sa vie. Donnons, en conséquence, quelques détails sur Salomon de Caus, autant qu'il est permis de fournir des renseignements positifs sur un modeste artiste du XVIIe siècle, à peu près ignoré de ses contemporains, et dont la gloire posthume ne devait briller que deux siècles après sa mort.

Le nom de Salomon de Caus n'est cité dans aucun des ouvrages biographiques de son temps ; c'est à ses propres écrits qu'il faut emprunter les particularités qui le concernent. Salomon de Caus naquit en 1576. Il était sans doute originaire de Normandie, car un de ses parents, Isaac de Caus, qui publia, quelque temps après lui, un ouvrage d'hydraulique, prend le titre de *Dieppois*. Dans la préface de l'un de ses écrits, Salomon de Caus nous apprend lui-même que les sciences et les arts l'occupèrent dès sa jeunesse ; il étudiait la peinture, les langues anciennes et les mathématiques. Porté vers la mécanique par un goût particulier, il s'appliqua de bonne heure à cette science. Ensuite, comme tous les artistes de son époque, il voyagea pour perfectionner ses études. Il se rendit d'abord en Italie, où il séjourna quelque temps. Il passa de là en Angleterre, et réussit à entrer dans la maison du prince de Galles ;

il fut attaché comme maître de dessin à la princesse Élisabeth. Le prince de Galles ayant confié à l'artiste français le soin de décorer les jardins de son palais, Salomon de Caus peupla de groupes mythologiques les jardins de Richemont. Tout le personnel de l'Olympe figurait dans les décorations de cette résidence célèbre; des machines hydrauliques faisaient jaillir les eaux au milieu de ces statues allégoriques. Cependant la princesse Élisabeth, ayant épousé, en 1613, le duc de Bavière, Frédéric V, se disposait à partir pour l'Allemagne; elle consentit à emmener avec elle son maître de dessin en qualité d'ingénieur et d'architecte. Dès son arrivée en Allemagne, Salomon de Caus fut chargé de diriger la construction de bâtiments nouveaux que le duc de Bavière se proposait d'ajouter à son palais de Heidelberg. Il fallait entourer de jardins le nouveau palais; on livra à l'architecte une sorte de fourré sauvage, le Friesemberg, montagne inculte hérissée de rochers nus et creusée de profonds ravins. L'art changea promptement la face de ces lieux abandonnés. La montagne fut remuée de fond en comble, et bientôt, sur l'emplacement de ce site désert, on vit s'élever de beaux jardins tout remplis d'ombre et de fraîcheur, ornés de maisons de plaisance, décorés d'arcs de triomphe et de portiques, égayés, suivant l'heureux style de cette époque, de fontaines jaillissantes et de grottes rocailleuses. Les délicieux jardins du palais de Heidelberg, qui ont été décrits dans un volume in-folio publié à Francfort en 1620, sons le titre de *Hortus palatinus*, ont fait l'admiration de l'Allemagne jusqu'à l'époque où ils furent détruits, pendant l'un des siéges suivis de pillage qui désolèrent Heidelberg de 1622 à 1688.

C'est pendant le cours de ces derniers travaux, lorsqu'il dirigeait la construction des jardins de Heidelberg, que Salomon de Caus publia, chez Jean Norton, libraire anglais établi à Francfort, son ouvrage sur les *Forces mouvantes*. Après la dédicace, adressée *au roi très chrétien* (Louis XIII), vient une

poésie laudative due à la plume d'un certain Jean le Maire, peintre et bel esprit du temps. Un acrostiche du poëte sur le nom de Salomon de Caus nous apprend que l'auteur de cet ouvrage n'était encore qu'en son *printemps*.

Salomon de Caus fit paraître, la même année, un traité sur la musique, intitulé : *Institution harmonique, divisée en deux parties : en la première sont montrées les proportions des intervalles harmoniques, et en la deuxième les compositions d'icelles.* Dans la préface de cet ouvrage, dédié *à la très illustre et vertueuse dame Anne, royne de la Grande-Bretagne*, l'auteur entreprend une dissertation historique pour prouver l'excellence de la musique, et il invoque l'histoire sacrée et l'histoire profane pour établir l'utilité de cet art, qui, selon lui, « *doit être colloqué au-dessus de toutes les sciences humaines.* » Entre autres preuves des bons effets de la musique, il nous apprend que « *la pudicité de Clitemnestre, femme d'Agamemnon, fut conservée aussi longtemps qu'un certain musicien dorien demeura avec elle.* »

Cependant l'architecte normand en était arrivé à son automne. Il avait quarante-sept ans, et depuis dix ans il résidait chez le palatin de Bavière. Le désir de revoir son pays abandonné depuis sa jeunesse, ou la mobilité de son humeur, le décidèrent à se séparer du prince. Il revint en France en 1623. De retour en Normandie, Salomon de Caus continua à vivre de son double métier d'ingénieur et d'architecte. Rien n'indique cependant qu'il possédât comme ingénieur des talents particuliers, car il resta étranger à tous les grands travaux de construction qui s'exécutèrent sous le règne de Louis XIII, et son nom n'a point laissé de traces dans l'histoire de l'art. Le seul témoignage qui nous reste de ses études à cette époque, est un dernier ouvrage qu'il publia à Paris en 1624 : *La practique et démonstration des horloges solaires, avec un discours sur les proportions.* Ce dernier livre est dédié au cardinal Richelieu.

A cela se bornent tous les renseignements que l'histoire a pu recueillir sur Salomon de Caus. La galerie d'antiquités de la ville de Heidelberg conserve son portrait peint sur bois à la date de 1619. Sa vie est racontée succinctement à l'envers du panneau ; on y fixe à l'année 1630 la date de sa mort.

Au milieu des simples événements de cette vie paisible, partagée entre la culture des beaux-arts et les devoirs d'une profession libérale, il est difficile de reconnaître le savant que l'on a coutume de nous représenter comme devançant son époque, et devinant, deux siècles avant nous, les applications mécaniques de la vapeur. L'obscur architecte normand qui passa ignoré de ses contemporains et de ses successeurs est loin de répondre à ce personnage de génie dont le type convenu semble déjà être acquis à l'histoire. Examinons maintenant les passages de ses écrits que l'on a coutume d'invoquer pour lui attribuer la découverte de la machine à feu.

L'ouvrage de Salomon de Caus, *Les raisons des forces mouvantes*, se compose de trois livres, qui ont pour titres, le premier : *Les raisons des forces mouvantes ;* le second : *Desseings de grotes et fontaines propres pour l'ornement des palais, maisons de plaisance et jardins ;* et le troisième : *Fabrique des orgues.* C'est dans le premier livre, *Les raisons des forces mouvantes*, que se trouve l'article relatif à la vapeur d'eau.

Le titre de cet ouvrage pourrait faire croire qu'il est consacré tout entier à l'étude des forces qui mettent en jeu les machines. Cependant il ne renferme que six pages relatives à l'équilibre de la balance, du levier, de la poulie, des roues à pignons dentelés et de la vis ; le reste est consacré à la description de diverses machines hydrauliques propres à l'élévation des eaux. Vient ensuite l'exposition des moyens à employer pour construire des grottes artificielles, des fontaines rustiques, et des cabinets de verdure pour l'ornement des jardins. Le troi-

sième livre est un traité pratique assez complet de la fabrication des orgues d'église.

Donnons en quelques mots une idée des matières contenues dans le premier livre.

Dans un court préambule, l'auteur, suivant les principes de la physique de son temps, annonce qu'il se propose de définir les quatre éléments des corps, parce que tous les effets des machines se rapportent à ces éléments. Comme la définition de l'air contient *une ligne* que l'on invoque quelquefois en faveur de Salomon de Caus, nous citerons textuellement le passage qui la renferme.

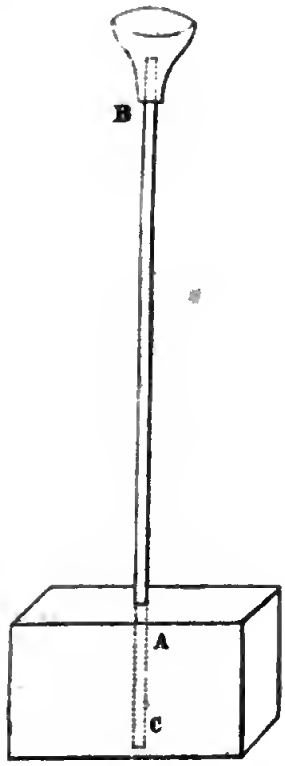
« *Définition première.* — Le feu, dit Salomon de Caus, est un élément lumineux, *chaud*, *très sec*, et très léger, lequel par sa chaleur fait grande violence.

» Il y a deux espèces de feu, l'un élémentaire, lequel n'est sujet à corruption, lequel je crois être la chaleur du soleil, car tout autre feu ou chaleur est sujet à nourriture ; la seconde espèce de feu est le matériel, lequel est dit ainsi, à cause qu'il est nourri et maintenu de matière corporelle, laquelle matière venant à faillir, faut aussi la chaleur ; quant à ce qu'il est dit lumineux, c'est à cause du soleil qui est la vraie lumière naturelle, et mesmement la lumière artificielle procède du feu matériel..... ; et quant à la violence du feu, la plus grande procède du feu matériel, chacun sait le dommage qu'il fait où il se met, soit par accident ou entreprise délibérée. En Sicile, le feu s'est mis dans la cavité du mont Gibella, autrement dit Ætna, lequel brûle il y a fort longtemps, toutefois, il y a apparence que ce feu prendra fin, quand toute la matière sulfurée qui l'entretient finira ; la violence aussi de plusieurs inventions de machines de guerre est admirable, lesquelles se font avec la poudre à canon ; ainsi le feu matériel nous sert aussi bien à faire du mal comme à faire du bien, et quant au feu élémentaire, il y a aucunes machines en ce livre, lesquelles ont mouvement par le moyen d'iceluy, comme l'élévation des eaux dormantes et autres machines suivantes icelles non démontrées par cy-devant. »

Après cette singulière définition du feu, qui peut donner une

juste idée de la force de ses raisonnements et de ses vues, Salomon de Caus passe à la définition de l'air.

« L'air, dit-il, est un élément froid, sec et léger, lequel se peut presser et se rendre fort violent..... L'air est aussi dit léger, car quelque quantité qu'il y ait d'air dans un vaisseau, il n'en sera plus pesant ; et quant à ce qui est dit ici qu'il se peut presser, j'en donnerai ici un exemple : Soit un vaisseau de plomb ou cuivre bien clos et soudé tout à l'entour, marqué A, auquel il y aura un tuyau marqué BC, duquel le bout C approchera près du fond dudit vaisseau d'environ un pouce, et au bout B, il y a un petit récipient (entonnoir) pour recevoir l'eau, laquelle verserez dans ledit récipient, et de là descendra au vaisseau, et d'autant que l'air qui est au dedans ledit vaisseau ne peut sortir, et qu'il faut qu'il y ait quelque place, on ne pourra emplir ledit vaisseau, et si le tuyau BC est haut de dix ou douze pieds il y entrera environ jusques au tiers d'eau, tellement que l'air se pressant, causera une compression, et fera même enfler le vaisseau, s'il n'est fort épais, ce qui démontre que l'air se presse, et que cette compression fait violence, comme il se pourra voir en diverses machines en ce livre, mais la violence sera grande quand l'eau s'exhale en air par le moyen du feu et que ledit air est enclos, comme, par exemple, soit une balle (ballon) de cuivre d'un pied ou deux de diamètre, et épaisse d'un pouce, laquelle sera remplie d'eau par un petit trou, lequel sera bouché bien fort après avec un clou, en sorte que l'eau ni l'air n'en puissent sortir ; il est certain que si l'on met ladite balle sur un grand feu, en sorte qu'elle devienne fort chaude, qu'il se fera une *compression si violente* que la balle crèvera en pièces, avec bruit semblable à un petart. »



La lecture du texte original de Salomon de Caus suffit pour rectifier l'interprétation inexacte que l'on a faite de ce passage. On voit que la première expérience qu'il rapporte n'a d'autre but que de démontrer la compressibilité de l'air, et de manifester l'un des effets mécaniques auxquels donne naissance l'air comprimé. L'air condensé par l'afflux de l'eau, dans l'espace AC, s'oppose, par sa pression, à ce que l'eau vienne occuper la capacité entière du vase. La seconde expérience n'est destinée qu'à montrer les effets de la compression de l'*air échauffé* et non de la vapeur, comme on l'a si souvent avancé. Salomon de Caus nous apprend que, par l'effet de la pression de l'eau *exhalée en air*, un ballon de cuivre peut éclater en mille pièces. Cette phrase : « *La violence sera grande quand l'eau s'exhale en air par le moyen du feu,* » si souvent invoquée en faveur de Salomon de Caus, prouve seulement qu'il connaissait le fait vulgaire d'un vase métallique rempli d'eau, hermétiquement bouché, et qui éclate par l'action de la chaleur. Mais ce fait était depuis longtemps connu ; on le trouve cité dans plusieurs écrits des alchimistes, et Salomon de Caus se borne à le reproduire, sans se douter de la véritable cause du phénomène ; il n'y voit autre chose que l'effet de l'air engendré par la chaleur et agissant sur l'eau dans un espace fermé.

Après ces définitions, Salomon de Caus passe à l'exposition de divers théorèmes. Le premier est ainsi formulé : « *Les parties des éléments se mêlent ensemble pour un temps, puis chacun retourne à son lieu.* » L'auteur rappelle d'abord que tous les corps de la nature sont « composés et mixtionnés d'éléments..., comme, par exemple, le bois et toute autre chose que la terre procure sont mixtionnés de sec et de l'humide. » Dans le développement de ce théorème, qui est loin d'être toujours intelligible, l'auteur se propose de montrer qu'après la décomposition d'un corps par l'action de la chaleur, chacun de

ses éléments *retourne en son lieu*, « comme, par exemple, le bois se détruit par le moyen de la chaleur, l'humidité s'évapore en haut, par extraction que fait la chaleur. Laquelle vapeur, venant à monter avec la chaleur jusqu'à la moyenne région, se quittent l'un l'autre, puis chacun retourne en son lieu, l'humidité retombant sur la terre, qui est ce que nous appelons pluie (1). » Il donne à l'appui de ce fait une expérience confusément exposée, qui ne saurait réussir telle qu'il l'indique, et qui prouve qu'une certaine quantité d'eau évaporée par la chaleur *retourne en eau* en produisant la même quantité de liquide.

Le théorème II des *Raisons des forces mouvantes* est consacré à discuter le principe du plein universel, thème favori de la physique du moyen âge. Il est ainsi conçu : « *Il n'y a rien à nous cogneu de vide.* »

Dans les théorèmes suivants, l'auteur arrive aux divers moyens pour « *élever l'eau plus haut que son niveau.* » Les quatre moyens que Salomon de Caus indique comme propres à élever l'eau sont : 1° le siphon, dans lequel l'eau monte d'abord au-dessus de son niveau dans la branche ascendante, pour s'écouler plus bas que son niveau dans la branche descen-

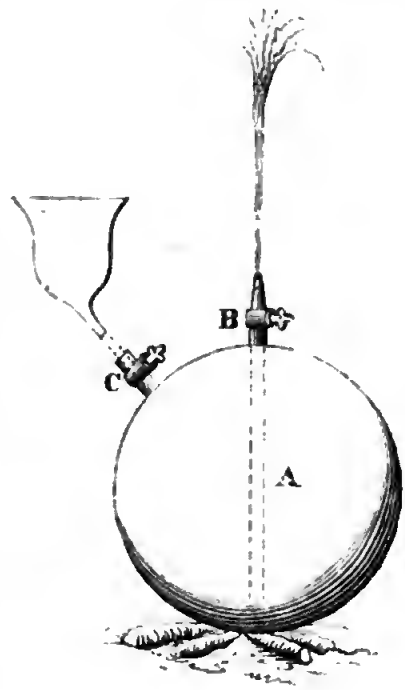
(1) Il ne faudrait pas conclure de l'emploi du mot *vapeur* par l'auteur des *Raisons des forces mouvantes*, qu'il possédât des notions exactes sur la vaporisation des liquides. Le terme de vapeur existait dans le langage, parce qu'il représentait une forme de la matière depuis longtemps observée, mais la nature du phénomène qui donne naissance aux vapeurs était inconnue à cette époque. La théorie de la vaporisation, entièrement ignorée du temps de Salomon de Caus, fut encore un mystère plus d'un siècle après lui. Pendant tout le XVIIe siècle, on continua de confondre avec l'air atmosphérique les vapeurs qui se forment pendant l'ébullition des liquides. Salomon de Caus avait des idées si inexactes à cet égard, que, dans le théorème dont nous parlons, il prétend que la vapeur d'eau est plus légère que la vapeur de mercure, parce que cette dernière se condense sur la vaisselle dorée, tandis que la vapeur d'eau continue de s'élever dans l'air.

dante; 2° la capillarité des tissus de laine ou de coton; 3° la compression de l'air, comme dans la fontaine de Héron, « *laquelle*, dit-il, *est une invention fort gentille et subtile;* » 4° la vis d'Archimède « *de quoi parle Diodore, Sicilien, et dit qu'Egypte a été asséchée par la vis d'Archimède. Vitruve aussi en fait mention, comme aussi fait Cardan, et dit qu'un de Rubeis, Milanais, pensant être le premier inventeur de cette machine, en devint fou de joie.* »

Voici enfin le dernier moyen d'élever l'eau, sur lequel on a fait reposer la gloire de Salomon de Caus :

« L'eau montera, par aide du feu, plus haut que son niveau.

» Le troisième moyen de faire monter l'eau est par l'aide du feu, dont il se peut faire diverses machines; j'en donnerai ici la démonstration d'une. Soit une balle de cuivre marquée A, bien soudée tout à l'entour, à laquelle il y aura un soupirail marqué C, par où l'on mettra l'eau, et aussi un tuyau marqué AB, qui sera soudé en haut de la balle, et dont le bout approchera près du fond sans y toucher; après, faut emplir ladite balle d'eau par le soupirail, puis le bien rebouchef et le mettre sur le feu : alors la chaleur donnant contre ladite balle, fera monter toute l'eau par le tuyau AB (1). »



Tel est l'appareil qui, selon Arago, « est une véritable machine à vapeur propre à opérer des épuisements (2). » Mal ré

(1) *Les raisons des forces mouvantes*, 1615, p. 4.

(2) *Notice sur la machine à vapeur* (*Annuaire du Bureau des longitudes*, 1837, p. 236).

notre juste déférence pour les décisions de l'illustre secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, il nous est impossible de partager son opinion. L'appareil décrit par Salomon de Caus ne peut servir qu'à l'*épuisement* de l'eau contenue dans le ballon A. Pour en élever davantage, il faudrait qu'il existât un moyen d'introduire dans ce ballon une nouvelle quantité d'eau après la sortie de la première. L'auteur ne donne aucune indication sous ce rapport; il dit formellement, au contraire, qu'il faut « remplir ladite balle par le soupirail C, puis le *bien reboucher.* » Sans doute si l'on ajoutait au robinet C un tube plongeant dans un réservoir d'eau froide, le vide se faisant dans l'intérieur du ballon par l'effet de la sortie du liquide, appellerait, par aspiration, une quantité d'eau à peu près égale à celle qui a disparu, et celle-ci s'élèverait à son tour après s'être échauffée. On obtiendrait de cette manière une sorte d'appareil intermittent qui pourrait servir à opérer l'épuisement d'une certaine masse d'eau, à la condition toutefois d'élever l'eau chaude et d'en vaporiser une quantité considérable. Mais Salomon de Caus ne propose rien de semblable, et la raison en est bien simple: il ne songeait nullement à construire une machine. Le petit appareil qu'il décrit est un objet de pure démonstration, une simple expérience de physique; c'est dans l'article consacré aux théorèmes et non dans le chapitre des machines, que se trouve sa description. Aussi lorsque Arago nous parle plus loin d'un ouvrier qui, dans la machine de Salomon de Caus, est chargé de remplacer l'eau expulsée, en ouvrant un orifice qui s'ouvre et se ferme à volonté (1), il est permis de dire que l'illustre écrivain prête à Salomon de Caus

(1) « Dans la machine de Salomon de Caus, dès que la pression de la vapeur a produit son effet, un ouvrier remplace l'eau expulsée à l'aide d'un orifice situé à la partie supérieure de la sphère métallique et qui s'ouvre ou se ferme à volonté. » (*Notice sur la machine à vapeur*, *Annuaire du Bureau des longitudes*, 1837, p. 256.)

une pensée qui n'entra jamais dans son esprit. Si Salomon de Caus avait voulu présenter cet appareil comme une machine de son invention, il n'eût pas manqué de donner à sa description tous les développements nécessaires. Il nous fait connaître, en effet, dans la suite de son ouvrage, diverses petites machines qu'il a inventées, entre autres, *une machine fort subtile par laquelle on pourra faire élever une eau dormante au moyen des rayons solaires ;* il ne manque pas alors de décrire minutieusement le mécanisme de cet appareil, la situation des soupapes, la disposition des tubes, le nombre des bassins et des citernes; en un mot, tout ce qui intéresse le jeu de sa machine.

Arago, revenant, dans son *Éloge de Watt*, sur l'ouvrage de Salomon de Caus, a dit : « Je ne saurais accorder que celui-là n'ait rien fait d'utile, qui, réfléchissant sur l'énorme ressort de la vapeur d'eau fortement échauffée, vit le premier qu'elle pourrait servir à élever de grandes masses de ce liquide à toutes les hauteurs imaginables. Je ne puis admettre qu'il ne soit dû aucun souvenir à l'ingénieur qui, le premier aussi, décrivit une machine propre à réaliser de pareils effets... L'appareil de Salomon de Caus, cette enveloppe métallique où l'on crée une force motrice presque indéfinie à l'aide d'un fagot et d'une allumette, figurera toujours noblement dans l'histoire de la machine à vapeur (1). » Nous avons fait connaître les idées inexactes professées par Salomon de Caus et par tous les physiciens de son temps, sur le phénomène de la vaporisation des liquides; il nous semble donc difficile qu'il ait jamais pu réfléchir « sur l'énorme ressort de la vapeur d'eau fortement échauffée. » Entre la phrase si simple de Salomon de Caus : « la chaleur donnant contre ladite balle fait monter toute l'eau par le tuyau AB, » et cet « énorme ressort de la vapeur d'eau, » il y a un

(1) *Annuaire du Bureau des longitudes*, 1839, p. 285.

intervalle assez difficile à combler. Quant « à élever de grandes masses de liquide à toutes les hauteurs imaginables, » il nous semble que c'est encore ajouter beaucoup à la pensée de l'auteur, qui ne parle que de faire monter l'eau au-dessus de son niveau, hauteur que l'on peut s'imaginer sans trop de peine.

Il ne sera pas inutile de faire remarquer, en passant, que la découverte de ce nouveau moyen d'élever l'eau était loin d'appartenir à Salomon de Caus. Dans une traduction italienne de l'ouvrage latin du physicien napolitain Porta, *Pneumaticorum libri tres*, publiée à Naples en 1601, on trouve la description d'un petit appareil qui a pour but de déterminer en combien de parties d'air peut se transformer une partie d'eau (*per sapere una parte di acqua in quanto di aria si risolve*). Porta détermine en combien de parties d'air se transforme une partie d'eau, en se servant de la pression qu'exerce de la vapeur d'eau sur de l'eau liquide contenue dans un petit réservoir. Or, ce moyen d'élever l'eau en exerçant sur elle une pression par l'effet de la chaleur, Porta est loin de le décrire comme une invention qui lui appartienne. Il était, en effet, connu bien longtemps avant lui, et dans l'ouvrage de Héron on trouve plus de vingt appareils fondés sur ce principe, dont la cause seulement échappait aux physiciens de cette époque. Aussi Porta est-il loin de s'attribuer la première observation de ce fait ; il le prend dans le courant des opinions communes, et le présente avec simplicité, comme un moyen d'établir par l'expérience une vérité qu'il recherche. On ne peut donc admettre, avec Arago, que Salomon de Caus ait fait le premier une observation de ce genre.

Nous ne pouvons admettre davantage que l'architecte normand ait eu la pensée de présenter son appareil comme créant « une force motrice presque indéfinie. » Salomon de Caus est bien loin d'élever des prétentions aussi hautes. Le petit appareil qu'il fait connaître, il le met sur la ligne du siphon, de la

fontaine de Héron et même des tissus humectés. Que pensez-vous des effets d'une machine destinée à rivaliser avec la capillarité des tissus ! Certes, si Salomon de Caus avait eu le projet qu'on lui prête, s'il avait voulu présenter son appareil comme susceptible de créer une force applicable aux travaux de l'industrie, le lieu était bien choisi de le déclarer nettement dans un livre sur les forces mouvantes. S'il avait eu quelque pensée de ce genre, il n'eût pas manqué de s'en exprimer clairement et formellement : il eût ainsi épargné aux historiens les épineux commentaires où il les a contraints de s'engager.

Ainsi Salomon de Caus trouva dans la science de son temps la notion vague, imparfaite et confuse, des effets mécaniques de la vapeur d'eau, effets que l'on n'avait pas encore réussi à distinguer de ceux de l'air échauffé. Il signala ce fait dans l'un de ses écrits, sans y ajouter plus d'importance qu'on ne le faisait à son époque, et sans songer un instant à l'appliquer à la construction d'une machine utile à l'industrie. Ce qui prouve qu'il n'ajoutait rien aux idées scientifiques de son temps, c'est que son ouvrage ne produisit aucune impression sur l'esprit de ses contemporains. Consulté seulement par quelques personnes de sa profession, le livre de l'architecte normand, qui traite, au même titre, des forces mouvantes, du dessin des grottes et fontaines, et de la fabrication des orgues, occupa fort peu les physiciens. Le jésuite Gaspard Schott est le seul qui, dans un ouvrage imprimé en 1657, sous le titre de *Mechanica hydraulico-pneumatica*, fasse mention du nom et de l'ouvrage de Salomon de Caus. Aucun autre auteur de son siècle n'a parlé de cet appareil, et son parent, Isaac de Caus, qui écrivit quelques années après lui un traité sur les moyens d'élever les eaux, ne cite même pas l'ouvrage de son homonyme. Nous sommes donc contraint de rejeter l'opinion universellement répandue qui fait de Salomon de Caus un savant du premier ordre qui, par la force de son génie, devina, il y a deux siècles,

la machine à vapeur moderne. Nous sera-t-il permis d'ajouter, par forme de conclusion, qu'il serait bon, dans l'histoire des sciences, de se montrer sobre de ces types romanesques d'hommes de génie qui devancent leur époque, et qui, tout d'un coup, font briller la lumière aux yeux de leurs contemporains, plongés dans la nuit de l'ignorance et des préjugés? Rarement un savant devance son époque. Appliquer les notions acquises de son temps, en déduire toutes les conséquences qu'elles renferment, cette tâche suffit à occuper son génie. Raisonner autrement, c'est introduire la fantaisie dans le domaine de l'histoire; c'est donner une idée fausse de la marche ordinaire de l'esprit humain et des lois qui président à l'évolution de nos découvertes; c'est enfin placer les esprits sur une pente dangereuse. En effet, quand un savant, raisonnant de bonne foi, a contribué à répandre dans le public un de ces préjugés scientifiques, ce faux germe jeté dans la foule ignorante ne tarde pas à porter ses fruits. On ne se fait pas scrupule de renchérir sur la donnée primitive, et sur la trame de cet épisode enjolivé de l'histoire scientifique on se met à broder sans façon un chapitre de roman. En ce qui touche Salomon de Caus, cette conséquence ne s'est pas fait attendre. Au mois de novembre 1834, quelques années après la publication de la Notice d'Arago, le *Musée des familles* publia une prétendue lettre datée du 3 février 1641, adressée par Marion Delorme à Cinq-Mars. Cette femme trop célèbre raconte, dans cette épître, les détails d'une visite qu'elle a faite à Bicêtre, en compagnie du marquis de Worcester. En traversant la cour des fous, Marion Delorme et le marquis aperçoivent, derrière les barreaux de son cabanon, un homme réduit à l'état de folie furieuse, qui ne cesse de crier à tous les visiteurs qu'il a fait une découverte admirable consistant à faire marcher les voitures et les manéges par la seule force de l'eau bouillante. Le marquis de Worcester s'extasie sur l'infortune et sur le génie

de cet homme, et Marion écrit le tout à Cinq-Mars en style badin :

« Mon cher d'Effiat (1), tandis que vous m'oubliez à Narbonne, et que vous vous y livrez aux plaisirs de la cour, et à la joie de contrecarrer M. le cardinal, moi, suivant le désir que vous m'en avez exprimé, je fais les honneurs de Paris à votre lord anglais, le marquis de Worcester (2), et je le promène, ou plutôt il me promène de curiosités en curiosités, choisissant toujours les plus tristes et les plus sérieuses, parlant peu, écoutant avec une extrême attention, et attachant sur ceux qu'il interroge deux grands yeux bleus qui semblent pénétrer au fond de la pensée. Du reste, il ne se contente jamais des explications qu'on lui donne, et il ne prend guère les choses du côté où on les lui montre. Témoin la visite que nous sommes allés faire ensemble à Bicêtre, et où il prétend avoir découvert dans un fou un homme de génie. Si le fou n'était pas furieux, je crois en vérité que votre marquis eût demandé sa liberté pour l'emmener à Londres, et écouter ses folies du matin au soir. Comme nous traversions la cour des fous, et que plus morte que vive, tant j'avais peur, je me serrais contre mon compagnon, un laid visage se montre derrière de gros barreaux et se met à crier d'une voix toute cassée : « Je ne suis point un fou, j'ai fait une découverte qui doit enrichir le pays qui voudra la mettre à exécution. — Et qu'est-ce que sa découverte? dis-je à celui qui nous montrait la maison. — Ah ! dit-il, en haussant les épaules, quelque chose de bien simple et que vous ne devineriez jamais, c'est l'emploi de la vapeur d'eau bouillante. — Je me mis à rire. — Cet homme, reprit le gardien, s'appelle Salomon de Caus. Il est venu de Normandie, il y a quatre ans, pour présenter au roi un mémoire sur les effets merveilleux que l'on pourrait obtenir de son invention; à l'entendre, avec de la vapeur, on ferait tourner des manéges, marcher des voitures, que sais-je! on opérerait mille autres merveilles. Le cardinal renvoya ce fou sans l'écouter. Salomon de Caus, au lieu de se décourager, se mit à suivre partout Monseigneur le cardinal, qui, las de le trouver sans cesse sur ses pas, et importuné de ses folies, ordonna de l'enfermer à Bicêtre,

(1) Henri Coiffier de Ruzé d'Effiat, marquis de Cinq-Mars, décapité en 1642 à Lyon.

(2) Edward Sommerset, marquis de Worcester.

où il est depuis trois ans et demi, et où, comme vous avez pu l'entendre vous-même, il crie à chaque étranger qu'il n'est point un fou, et qu'il a fait une découverte admirable. Il a même composé à cet égard un livre que j'ai ici (1). » Milord Worcester, qui était devenu tout rêveur, demanda le livre, et après en avoir lu quelques pages, dit : « Cet homme n'est point un fou, et dans mon pays, au lieu de l'enfermer, on l'aurait comblé de richesses. Menez-moi près de lui, je veux l'interroger. » On l'y conduisit, mais il revint triste et pensif. « Maintenant, il est bien fou, dit-il, le malheur et la captivité ont altéré à jamais sa raison ; vous l'avez rendu fou, mais quand vous l'avez jeté dans ce cachot, vous y avez jeté le plus grand génie de votre époque. » Là-dessus, nous sommes partis, et depuis ce temps il ne parle que de Salomon de Caus. Adieu, mon cher amé et féal Henri, revenez bien vite et ne soyez pas tant heureux là-bas qu'il ne vous reste un peu d'amour pour moi.

» MARION DELORME. »

Cette pièce, fabriquée par un mystificateur hardi, eut un succès prodigieux, et l'on ne manqua pas de dire que le marquis de Worcester, à qui ses compatriotes attribuent la découverte de la machine à vapeur, en avait puisé l'idée dans sa conversation avec le fou de Bicêtre. On pouvait cependant élever contre l'authenticité de cet écrit quelques objections qui ne manquent pas de solidité. On pouvait faire remarquer, entre autres choses, que Salomon de Caus, mort en 1630, aurait pu difficilement être enfermé en 1641 dans un hôpital de fous ; — que Bicêtre était alors une commanderie de Saint-Louis, où l'on donnait asile à d'anciens militaires, et non un hôpital ; — que Salomon de Caus n'avait jamais pensé à construire une machine utilisant les effets mécaniques de la vapeur ; — enfin qu'il n'avait jamais reçu que de bons offices de la part de Richelieu, puisque dans la dédicace de son livre, *La practique et*

(1) Le livre de Salomon de Caus est intitulé : *Les raisons des forces mouvantes avec diverses machines, tant utiles que plaisantes.* Il a été publié en 1615.

démonstration des horloges, il exprime sa reconnaissance pour les boutés du cardinal. Mais le public n'y regarde pas de si près, et bien des gens ne renoncent pas sans douleur à la bonne fortune historique d'un homme de génie mourant à l'hôpital. Un sujet si bien trouvé revenait de droit aux œuvres de l'imagination et de l'art. Tout Paris a vu, à l'une des expositions du Louvre, un tableau de l'un de nos peintres, M. Lecurieux, dans lequel Salomon de Caus, enfermé à Bicêtre, est représenté les yeux caves et la barbe hérissée, tendant les mains, à travers les barreaux de sa prison, au couple brillant de Marion Delorme et du marquis ; la lithographie et la gravure ont consacré à l'envi ce préjugé historique, le roman l'a exploité, de telle sorte que l'architecte normand tient aujourd'hui sa place à côté de Galilée et de Christophe Colomb sur la liste des hommes de génie persécutés et méconnus.

CHAPITRE III.

Le Père Leurechon. — Branca. — L'évêque Wilkins. — Le Père Kircher. — Le marquis de Worcester.

On a vu dans le précédent chapitre que, pendant la période qui nous occupe, les physiciens ne possédaient sur la vaporisation des liquides que quelques notions confuses, viciées par une interprétation théorique des plus inexactes, consistant à rapporter à l'air échauffé la plupart des phénomènes qui proviennent du ressort de la vapeur d'eau. Les faibles effets mécaniques que l'observation vulgaire avait révélés concernant la

force élastique de la vapeur n'étaient alors l'objet que d'applications insignifiantes ou ridicules. Si quelques doutes pouvaient subsister sur ce point, les faits qu'il nous reste à présenter seraient de nature à les dissiper.

Le Père Leurechon, jésuite lorrain, a publié en 1626, sous le titre de *Récréations mathématiques*, un ouvrage souvent réimprimé depuis, et qui donne un reflet fidèle de l'état des connaissances physiques et mécaniques au XVIIe siècle. Le petit appareil connu sous le nom d'*éolipyle* fixait beaucoup l'attention des physiciens de cette époque. Le Père Leurechon va nous montrer quelles applications on imaginait alors d'en tirer.

« Les éolipyles, dit le Père Leurechon (Problème 75), sont des vases d'airain ou autre semblable matière qui puisse endurer le feu ; ils ont un petit trou fort étroit par lequel on les emplit d'eau, puis on les met devant le feu, et jusqu'à ce qu'ils s'échauffent on n'en voit aucun effet ; mais aussitôt que le chaud les pénètre, l'eau venant à se raréfier, sort avec un sifflement impétueux et puissant à merveille... Quelques-uns font mettre dans ces soufflets un tuyau courbé à divers plis et replis, afin que le vent, qui roule avec impétuosité par dedans, imite le bruit d'un tonnerre. D'autres se contentent d'un simple tuyau dressé à plomb, un peu évasé par le haut, pour y mettre une petite boule qui sautille par-dessus fait à fait que les vapeurs sont poussées dehors. Finalement, quelques uns appliquent auprès du trou des moulinets ou choses semblables, qui tournevirent par le mouvement des vapeurs, ou bien, par le moyen de deux ou trois tuyaux recourbés en dehors, font tourner une boule. »

Ces moulinets ou choses semblables qui tournevirent par le mouvement des vapeurs, nous allons les retrouver chez d'autres physiciens du XVIIe siècle : les applications puériles que l'on fait alors des propriétés de la vapeur d'eau montreront suffisamment quel rôle jouaient, dans la science de cette époque, les notions relatives à la vapeur.

Giovanni Branca, architecte de l'église de Lorette, savant très peu connu et qui n'a laissé que quelques ouvrages sur l'architecture et l mécanique, a publié à Rome, en 1629, sous le titre de *Le machine*, un recueil des principales machines connues de son temps. Branca n'est point l'inventeur des machines qu'il décrit; c'est seulement à la prière de ses amis qu'il fait, dit-il, cette publication, car il ne connaît point les noms des auteurs des différents appareils dessinés dans son ouvrage. L'une des machines décrites par Giovanni Branca est un éolipyle ainsi composé : Le buste d'une statue métallique creuse est placé sur un brasier; un trou qui se ferme à vis sert à introduire de l'eau dans ce buste; un tube adapté à sa bouche lance la vapeur contre les augets d'une roue horizontale. Celle-ci, au moyen d'une roue dentée, met en action deux pilons : « Ces pilons, dit Branca, broieront de la *poudre* ou toute autre matière que l'on voudra (1). »

J'imagine que cet appareil était destiné à broyer *toute autre matière*, car l'existence d'un foyer à quelques pas de la poudre n'aurait pas été marquée au coin d'une prudence excessive. « Je n'ai pas encore deviné, dit Arago, en parlant de l'appareil de Branca, d'après quelles analogies on a pu voir dans cet éolipyle le premier germe de la machine à vapeur employée de nos jours. » La liaison serait en effet difficile à saisir. Le principe de la machine à vapeur moderne repose sur la force élastique de la vapeur d'eau contenue dans un espace fermé; ici il s'agit, au contraire, du simple effet d'impulsion que produit un courant de vapeur. Un courant d'air chassé par un soufflet, et dirigé contre les augets de la roue, aurait produit un effet tout semblable. Cette assimilation est tellement fondée, que Branca décrit, dans une autre partie de son livre, une machine analogue à la précédente, dans laquelle seulement l'action de la

(1) *Le machine* del signor G. Branca, p. 24.

vapeur est remplacée par celle de l'air chaud. Une roue à augets, placée au sommet du tuyau d'une cheminée en activité, tourne par l'effet du courant d'air échauffé qui s'élève du foyer ; divers engrenages communiquent le mouvement de cette roue à un laminoir qui transforme des lames de métal en médailles ou en pièces de monnaie (1).

Cette insignifiante application de l'éolipyle, faite par l'architecte romain, est cependant revendiquée par Robert Stuart en faveur de l'un de ses compatriotes. « L'ingénieux et savant évêque Wilkins est le premier auteur anglais, dit Robert Stuart, qui parle de la possibilité de faire mouvoir des machines par la force élastique de la vapeur (2). » Jean Wilkins, beau-frère de Cromwell et évêque de Chester, qui, malgré ses travaux de théologie, s'était rendu habile dans les sciences physiques et mathématiques, a publié sous le titre de *Mathematical magick*, un ouvrage où il est dit quelques mots de l'éolipyle. « On peut, dit l'évêque de Chester, employer les éolipyles de diverses manières, soit comme amusement, soit pour enfler et pousser des voiles attachées à une roue placée dans le coin d'une cheminée, au moyen de laquelle on peut faire tourner un tournebroche. »

Robert Stuart nous a déjà parlé d'un éolipyle appliqué, au XVIe siècle, à faire marcher un tournebroche. Il paraît qu'à cette époque l'emploi mécanique de la vapeur d'eau ne pouvait s'élever encore au-dessus de cet engin de cuisine.

Ainsi, jusqu'à la période à laquelle nous sommes parvenus, on connaît vaguement quelques-uns des effets mécaniques que

(1) Au XVIe siècle, Cardan avait décrit une machine à peu près semblable sous le nom de *machine à fumée*. Elle était formée de feuilles de tôle taillées à peu près comme des ailes de moulin et disposées de la même manière autour d'un axe mobile ; on la plaçait horizontalement dans le tuyau d'une cheminée. On attribuait à la fumée le principe d'action de cette machine, mais Cardan remarque avec raison que la flamme semble plutôt contribuer à ses effets.

(2) *Histoire descriptive de la machine à vapeur*, p. 35.

peut exercer la vapeur d'eau. Mais là s'arrêtent toutes les notions. Les applications de ce fait sont à peu près nulles, car on ne s'en sert que pour la démonstration de principes erronés ou pour faire manœuvrer des jouets d'enfant. Quant à la théorie du phénomène, on continue d'admettre à cet égard l'erreur de l'ancienne physique, c'est-à-dire la transformation de l'eau en air par le fait de la chaleur. Nous avons vu Porta, Salomon de Caus et le Père Leurechon professer cette théorie; le Père Kircher va la formuler pour nous d'une manière plus explicite encore.

Le Père Kircher, dont l'esprit fécond et l'imagination active s'exerçaient sur toutes les branches de la science de son temps, a publié à Rome, en 1641, un ouvrage intitulé : *Magnes, sive de magnetica arte*, dans lequel il décrit plusieurs de ces appareils curieux qu'il aime tant à faire connaître. L'un de ces appareils est un vase métallique allongé contenant de l'eau à sa partie inférieure. Cette eau étant portée à l'ébullition, la vapeur s'introduit, à l'aide d'un tube, dans un vase supérieur, et par la pression qu'elle exerce sur de l'eau contenue dans ce vase, elle fait jaillir celle-ci par un ajutage. Rien de plus simple, on le voit, que le mécanisme de cet appareil. Or, voici comment le Père Kircher nous rend compte de ses effets :

« L'appareil étant ainsi préparé, si vous voulez qu'il chasse le liquide à une grande hauteur *par la force du feu*, placez le vase sur le feu après l'avoir rempli d'eau. L'*air de ce vase*, comprimé par la raréfaction et ne trouvant d'issue que par le tube, y passera avec violence et tentera de s'échapper dans le vase supérieur. Mais comme une autre liqueur occupe ce vase supérieur, maintenu dans un espace qu'il ne peut franchir, il entreprend une lutte terrible avec l'eau : il faut donc, ou que le vase soit rompu, ou que l'eau cède. Et comme cela est plus facile, l'eau, cédant enfin à l'*effort violent de l'air raréfié*, s'élancera dans l'air avec une grande impétuosité par le tube, et fournira un coup d'œil agréable aux spectateurs. »

Ainsi le jeu de ce petit appareil, qui ne fonctionne que par la pression de la vapeur d'eau, était rapporté par Kircher à la seule action de l'air dilaté par la chaleur. On peut juger par là de la nature des idées théoriques qui régnaient chez les physiciens du XVIIe siècle, touchant le phénomène de la vaporisation des liquides.

Nous ne nous sommes guère attaché depuis le commencement de cette étude qu'à combattre les opinions communément admises sur l'origine de la machine à vapeur. Cependant nous n'en avons pas fini sur ce point, car nous n'avons rien dit encore de l'opinion qui rapporte cette découverte au marquis de Worcester.

Ce n'est pas un fait médiocrement curieux que l'obstination avec laquelle l'Angleterre persiste depuis plus d'un siècle à attribuer au marquis de Worcester la première idée des applications mécaniques de la vapeur. Interrogez au hasard un citoyen de la Grande-Bretagne, dans l'atelier, dans la chaumière, dans le club, partout on vous dira que la machine à feu a été inventée par le marquis de Worcester, qui vivait au temps de Cromwell. Aucun auteur anglais ne saurait écrire dix lignes sur ce sujet, sans adresser, en passant, son hommage au noble inventeur. Les nombreux écrivains qui, dans des ouvrages spéciaux ou les encyclopédies, se sont occupés de cette question, tels que le docteur Robison, le docteur Rees, MM. Millington, Nicholson, Lardner, Alderson, Tredgold et Thomas Young, sont unanimes sur ce point; presque tous prennent comme point de départ de l'histoire de la machine à vapeur, les travaux de Worcester. M. Pardington, de l'Institution de Londres, dans une édition qu'il a donnée, en 1825, de l'ouvrage du marquis, décide que « Worcester est le premier qui ait découvert un moyen d'appliquer la vapeur comme agent mécanique; invention qui suffirait seule pour immortaliser le siècle dans lequel il vivait. » C'est en vain que Arago, donnant un corps à l'évidence, a fait

justice, dans sa célèbre Notice, des prétendus droits de Worcester; les ouvrages anglais écrits postérieurement au travail de l'illustre académicien, reproduisent imperturbablement la même assertion, et les auteurs d'un ouvrage important récemment publié par une société de mécaniciens anglais (*Artisan club*) répètent avec assurance : « C'est sans aucun doute à la conception du marquis de Worcester qu'il faut rapporter l'origine des machines à vapeur susceptibles d'application. »

Pour justifier tant de ténacité dans la défense d'une opinion historique, il faut que les témoignages qui l'appuient soient d'une force peu commune. Voyons sur quels documents on la fonde.

Le marquis de Worcester publia à Londres, en 1663, un ouvrage intitulé : *Century of inventions*, etc. (*Catalogue descriptif des noms de toutes les inventions que je puis me rappeler avoir faites ou perfectionnées, ayant perdu mes premières notes*). Ce livre, d'un style des plus obscurs, contient de très courtes descriptions, et quelquefois la simple annonce, de cent machines, inventions ou découvertes que l'auteur s'attribue. Il s'exprime ainsi dans sa soixante-huitième invention :

« J'ai inventé un moyen aussi admirable que puissant pour élever l'eau par le moyen du feu, non pas avec les secours de la pompe, parce que celle-ci n'agit, selon l'expression des philosophes, que *intra spheram activitatis*, qui a très peu d'étendue; au contraire, cette nouvelle puissance n'a pas de bornes, si le vase est assez fort. J'ai pris, par exemple, une pièce de canon dont le bout était brisé. J'en ai rempli les trois quarts d'eau, j'ai bouché ensuite, et fermé à l'aide de vis le bout cassé ainsi que la lumière, et fait continuellement du feu sous le canon : au bout de vingt-quatre heures il éclata avec un grand bruit. *De sorte* qu'ayant trouvé une manière de construire solidement mes vases et de les remplir l'un après l'autre, j'ai vu l'eau jaillir comme un jet continuel à quarante pieds de hauteur. Un vase d'eau raréfiée par le feu en fait monter quarante d'eau froide. L'homme qui sur-

veille le jeu de la machine n'a qu'à tourner deux robinets, afin qu'un vase d'eau étant épuisé, l'autre commence à forcer et à se remplir d'eau froide, et ainsi de suite, le feu étant constamment alimenté et soutenu, ce qu'une même personne peut faire aisément dans l'intervalle de temps où elle n'est pas occupée à tourner les robinets. »

Le lecteur attend sans doute la suite de cet imbroglio; mais cet imbroglio n'a pas de suite, et les lignes précédentes renferment tout ce que le marquis de Worcester a jamais écrit sur les applications de la vapeur. Maintenant, que l'on veuille bien peser avec soin tous les termes de cette description, et que l'on décide si l'on peut y trouver, nous ne disons pas l'idée d'une machine à vapeur, mais seulement un sens raisonnable. Tout ce qu'il est permis de comprendre à ce logogriphe, c'est que l'auteur a reconnu par expérience, qu'une pièce de canon remplie d'eau, et hermétiquement bouchée, peut éclater par l'action prolongée de la chaleur. Ce fait, sans portée scientifique, était depuis longtemps connu (1). Quant à la description de la machine, elle est de tout point inintelligible. Les savants et les mécaniciens anglais ont mis leur esprit à la torture pour représenter par le dessin un appareil réunissant les conditions indiquées dans l'ouvrage de Worcester; mais ils n'ont pu le faire qu'en y introduisant des éléments d'origine moderne, et toutes

(1) M. Delécluze a fait connaître, en 1841, dans le journal *l'Artiste*, un croquis assez informe retrouvé dans les manuscrits de Léonard de Vinci, représentant un instrument que l'illustre peintre de la renaissance désigne sous le nom d'*architonnerre*. Cet appareil était fondé sur les propriétés explosives de la vapeur d'eau comprimée. On reconnaît, en effet, en examinant avec soin ses dispositions, que la vapeur n'y pouvait agir qu'en le faisant éclater en mille pièces. M. Delécluze a vu dans cet instrument un véritable *canon à vapeur* et l'a décrit comme tel. L'habile critique des *Débats* nous permettra de ne pas accepter son interprétation; l'architonnerre ne pouvait servir à chasser un boulet, mais simplement à tuer, par suite de son explosion inévitable, l'imprudent qui aurait essayé de l'employer.

les machines que l'on a ainsi péniblement reconstruites pour donner quelque vraisemblance aux assertions du marquis, ont cela de fort curieux, que pas une d'elles ne ressemble à l'autre. Comment en effet tirer quelque chose de raisonnable d'une description faite en quatre lignes, et où tout se réduit à dire : « Un des vases étant épuisé, l'autre commence à *forcer et à se remplir d'eau froide.* » De tels documents ne se discutent pas, il suffit de les citer.

Malgré le parti pris des écrivains anglais en ce qui touche les droits de leur compatriote, il s'est rencontré parmi eux un savant assez ami de la vérité et du bon sens pour rendre à l'évidence un hommage d'autant plus louable qu'il n'a rencontré jusqu'ici que peu d'imitateurs. Robert Stuart, dans son *Histoire descriptive de la machine à vapeur*, s'exprime ainsi au sujet du marquis de Worcester :

« Le plus célèbre de tous ceux qui ont associé leurs noms à l'histoire de la machine à vapeur dans son enfance, est un marquis de Worcester, qui vivait sous le règne de Charles II. Cette célébrité paraîtra fort extraordinaire, si l'on se rappelle d'un côté le dédain avec lequel on accueillit de son vivant ses prétentions extravagantes à l'honneur de plusieurs découvertes, la brièveté étudiée, le vague et l'obscurité qu'il a mis dans les descriptions des machines sur lesquelles il fondait ses titres de gloire et ses demandes d'encouragement ; et de l'autre, en voyant cet hommage éclatant que notre siècle a décerné à son génie mécanique, hommage qui paraît être autant au-dessus de son mérite réel que l'injuste indifférence de ses contemporains était au-dessous de son talent.

» Ses droits, comme inventeur, ne reposent au reste que sur le compte qu'il rend lui-même de l'*utilité* et des *merveilleuses propriétés* de ses inventions ; c'est donc sur la réputation de loyauté et de sincérité du marquis que nous devons mesurer la confiance que méritent ses propres assertions. Mais cette réputation, si l'esquisse qu'un contemporain a tracée du marquis ressemble à l'original, ne nous permet pas de croire un seul mot des explications mensongères consignées dans l'ouvrage intitulé : *Century of*

inventions. « Le marquis de Worcester, dit Walpole, s'est montré » sous deux caractères bien différents; savoir, comme homme » public et comme auteur. Comme homme public, c'était un » homme de parti ardent; et comme auteur, c'était un mécanicien » original et fertile en projets chimériques; mais il était de bonne » foi dans ses erreurs. Ayant été envoyé par le roi en Irlande, » pour négocier avec les catholiques révoltés, il dépassa ses » instructions et leur en substitua de son fait, que le roi désavoua, » mais toutefois en le mettant à l'abri des conséquences fâcheuses » que pouvait avoir son infidélité. Le roi, avec toute son affection » pour le comte (il était alors comte de Glamorgan), rappelle » dans deux de ses lettres son défaut de jugement. Peut-être Sa » Majesté aimait-elle à se confier à son indiscrétion, car le comte » en avait une forte dose. Nous le voyons prêter serment sur ser- » ment au nonce du pape, avec promesse d'une obéissance illi- » mitée à Sa Sainteté et à son légat; nous le voyons ensuite » demander cinq cents livres sterling au clergé d'Irlande, pour » qu'il puisse s'embarquer et aller chercher une somme de cin- » quante mille livres sterling, comme ferait un alchimiste qui » demande une petite somme pour procurer le secret de faire de » l'or. Dans une autre lettre, il promet deux cent mille couronnes, » dix mille armements de fantassins, deux mille caisses de pisto- » lets, huit cents barils de poudre, et trente ou quarante bâtiments » bien équipés; et tout cela, au dire d'un contemporain, lorsqu'il » n'avait pas un sou dans sa bourse, ni assez de poudre pour » tirer un coup de fusil (1). »

(1) Robert Stuart va jusqu'à mettre en doute la réalité des inventions du marquis. « S'il est vrai, dit cet historien, que le marquis ait jamais fait des expériences sur l'élasticité de la vapeur (car il est permis de mettre en doute l'expérience du canon), ou ait tenté de mettre à exécution son projet, en construisant une machine, il est vrai de dire qu'il ne reste aucune trace ni de ses expériences, ni de son appareil : aussi il est plus raisonnable de révoquer en doute les travaux dont il se glorifie. La clause de l'acte du parlement par laquelle on lui accorde le privilége de son monopole fortifie singulièrement notre soupçon, et lui donne presque un caractère de certitude : car il y est expressément dit (et cette clause prouve que le procédé était tout nouveau) que le brevet a été délivré au marquis sur sa *simple affirmation* qu'il était l'auteur de la découverte. Il n'est pas vraisemblable qu'on eût motivé ainsi son brevet, s'il eût eu une machine à montrer ou une expérience à rapporter. »

Tel est le personnage auquel on veut faire jouer le rôle d'inventeur de la machine à feu. Il est difficile qu'au milieu des événements de sa carrière agitée il ait trouvé des loisirs à consacrer à l'étude des sciences. Ses écrits concernant la mécanique se bornent à son petit livre *Century of inventions.* Nous n'avons rien à dire en effet d'un autre ouvrage qu'il publia sous le titre de : *An exact and true definition*, etc. (*Définition vraie et exacte de la plus étonnante machine hydraulique inventée par le très honorable Edouard Somerset, lord-marquis de Worcester, digne d'être loué et admiré, présenté par Sa Seigneurie à Sa Majesté Charles II, notre très gracieux souverain*). Cette *définition vraie et exacte* n'est consacrée qu'à l'énumération des usages extraordinaires de son *admirable méthode d'élever l'eau par le moyen du feu.* L'ouvrage ne contient pas une ligne relative à la description de l'appareil; tout se réduit à une exposition emphatique des services qu'il peut rendre. On y trouve ensuite un acte du parlement qui accorde au marquis le privilége de sa machine, quatre mauvais vers de sa façon en l'honneur de sa découverte, puis le *exegi monumentum* d'Horace, le tout glorieusement terminé par quelques vers latins et anglais à la louange du noble inventeur, dus à la plume de James Rollock, vieil admirateur de Sa Seigneurie.

Il est assez curieux de savoir comment est venue aux savants anglais l'idée d'attribuer l'invention de la machine à feu au nébuleux auteur du *Century of inventions.* Au commencement du XVIIIe siècle, lorsque furent construites les premières machines à vapeur qui aient fonctionné en Europe, des discussions assez vives s'élevèrent entre plusieurs mécaniciens qui réclamaient la priorité de l'invention. Le capitaine Savery, qui, comme nous le verrons, a construit la première machine à vapeur qu'ait employée l'industrie, voulait s'attribuer l'honneur tout entier de cette découverte. Denis Papin, informé de ses

prétentions, écrivit aussitôt pour établir ses droits de priorité : l'illustre physicien vivait alors en Allemagne ; son refus d'abjurer la religion réformée lui interdisait l'entrée de la France. Il y avait alors à Orléans un savant abbé, nommé Jean de Hautefeuille, grand amateur de mécanique, et qui nous est connu par quelques travaux sur lesquels nous reviendrons. Le pieux abbé ne put supporter la pensée de voir décerner à un hérétique l'honneur d'une si importante découverte, et dans un de ses opuscules (1), il contesta les droits de Papin. Ce fut alors que les Anglais, entrant dans la querelle, produisirent l'ouvrage, jusque-là inaperçu ou méprisé, du marquis de Worcester. Cette intervention, qui semblait mettre les parties d'accord, termina le débat, et la victoire resta acquise au génie britannique. Mais, on le voit, le zèle de l'abbé de Hautefeuille avait été bien mal inspiré, car le marquis de Worcester, en sa qualité d'Anglais, était tout aussi hérétique que Papin ; ainsi l'abbé de Hautefeuille n'avait rien fait gagner à la religion, et du même coup il avait dépossédé sa patrie de la gloire légitime qui lui revenait.

(1) *Lettre de M. de Hautefeuille à M. Bourdelot, premier médecin de madame la duchesse de Bouillon, sur le moyen de perfectionner l'ouïe*, 1702, p. 14.

CHAPITRE IV.

Naissance de la physique moderne. — Découvertes de Torricelli et de Pascal. — Expérience de Périer sur le Puy-de-Dôme. — Invention de la machine pneumatique. — Application de ces découvertes à la création d'un moteur universel.

Cependant le moment approchait où les vagues et confuses notions de la physique du moyen âge allaient faire place à une science positive. L'institution de la physique moderne date, avons-nous vu, de la mort de Galilée. On aurait dit que les sciences n'attendaient que la mort de l'illustre philosophe pour prendre l'essor qu'elles devaient à son génie. La découverte du baromètre par Torricelli et Pascal marqua le premier pas de la physique naissante. Comme cette grande découverte se lie de la manière la plus étroite à celle de la machine à vapeur, ou plutôt comme la machine à feu proposée par Denis Papin, en 1690, n'est que la conséquence et l'application des faits mis en lumière par suite de l'invention du baromètre, nous devons rappeler la série de circonstances qui amenèrent les physiciens du XVIIe siècle à découvrir les effets de la pression atmosphérique.

En 1630, le doux et modeste Torricelli, qui, comme Pascal, devait mourir à trente-neuf ans, étudiait les mathématiques à Rome, et manifestait les dispositions brillantes qui devaient le placer bientôt au rang des premiers géomètres de son époque. Il se lia intimement avec Castelli, le disciple chéri de Galilée. Castelli retira le plus grand profit, pour ses travaux, des conseils du jeune mathématicien romain, et en retour il commu-

niqua à son ami les découvertes et les vues scientifiques de Galilée. C'est ainsi que Torricelli fut amené à connaître le fait qui devait donner naissance entre ses mains à la découverte du baromètre.

Les fontainiers du grand-duc de Florence avaient construit, pour amener l'eau dans le palais ducal, des pompes aspirantes dont le tuyau dépassait quarante pieds de hauteur : quand on voulut les mettre en jeu, l'eau refusa de s'élever jusqu'à l'extrémité du tuyau. Galilée, consulté sur ce fait, mesura la hauteur à laquelle s'arrêtait la colonne d'eau, et la trouva d'environ trente-deux pieds. Il apprit alors des ouvriers employés à ce travail que ce phénomène était constant, et que l'eau ne pouvait jamais s'élever, dans les pompes aspirantes, à une hauteur supérieure à trente-deux pieds. L'ascension de l'eau dans les pompes s'expliquait alors par le principe de l'*horreur du vide*, axiome célèbre de la scolastique : la nature, disait-on, n'admettait que le plein, et comme elle ne pouvait souffrir le vide qui se serait trouvé entre le piston soulevé et le niveau de l'eau, celle-ci était forcée de suivre le piston dans son ascension. Sans rejeter entièrement l'opinion des physiciens de son temps, Galilée crut pouvoir expliquer le fait en disant que la longueur d'une colonne d'eau de trente-deux pieds produisait un poids trop considérable pour que la base de la colonne liquide pût le supporter. Il comparait ce phénomène à celui que présente une corde horizontale tendue à ses deux extrémités, et qui, à une certaine longueur, finit par se rompre, parce qu'elle ne peut plus supporter son propre poids (1).

Torricelli, méditant sur ce fait, soupçonna que la pression de l'atmosphère agissant sur la surface du liquide pouvait être la cause de l'ascension de l'eau dans le tuyau des pompes. Pour vérifier cette conjecture par l'expérience, il essaya de repro-

(1) *Dialogi di Galileo* (*Opera di Galileo Galilei*, t. II, p. 489)

duire le même phénomène en employant un liquide plus pesant que l'eau. Comme la densité du mercure est environ quatorze fois supérieure à celle de l'eau, la théorie indiquait que la pression de l'air pourrait seulement tenir en équilibre une colonne de mercure à une hauteur quatorze fois moindre, c'est-à-dire à vingt-huit pouces. Torricelli remplit donc de mercure un tube de verre de trois pieds de long, fermé à l'une de ses extrémités, il boucha avec le doigt son extrémité inférieure, et plongea le tube ainsi préparé dans une cuvette pleine de mercure; retirant alors le doigt, il vit le mercure descendre en partie dans l'intérieur du tube, et, après quelques oscillations, rester suspendu en équilibre à la hauteur de vingt-huit pouces au-dessus du niveau du mercure de la cuvette, c'est-à-dire précisément à la hauteur indiquée par la théorie. Telle fut la célèbre expérience qui fut désignée depuis ce moment sous le nom d'*expérience du vide.*

Aux yeux de Torricelli, elle établissait clairement le phénomène de la pesanteur de l'air. Cependant cette démonstration était trop indirecte pour convaincre des esprits trop peu familiarisés encore avec l'observation. Les physiciens s'occupèrent avec beaucoup de curiosité et d'intérêt de cet espace vide existant entre le sommet du tube et l'extrémité de la colonne de mercure; on désigna cet espace sous le nom de *vide de Torricelli.* Mais l'explication du fait de l'équilibre du mercure par la pesanteur de l'air rencontra des résistances opiniâtres; les esprits les plus éclairés de l'époque éprouvaient la plus vive répugnance à abandonner l'ancienne opinion des écoles touchant le plein universel.

En 1646, le Père Mersenne, religieux de l'ordre des Minimes, le condisciple et l'ami de Descartes, parcourait l'Europe pour rassembler, sur les sciences de son époque, des renseignements précis qu'il se hâtait de communiquer au reste des savants. Il eut connaissance, à Rome, de l'expérience de Torricelli, et il

en apporta la nouvelle en France. M. Petit, intendant des fortifications de Rouen, avait appris du Père Mersenne lui-même les détails de l'expérience de Torricelli ; il se hâta d'en informer Blaise Pascal, qui se trouvait alors auprès de son père, intendant des finances de la ville de Rouen. M. Petit et Blaise Pascal répétèrent ensemble l'expérience du physicien romain, et c'est ainsi que Pascal fut amené à entreprendre les recherches dont il publia les résultats sous le titre de *Nouvelles expériences touchant le vuide*. La plus célèbre et la plus curieuse de ces expériences est celle où Pascal, remplissant de vin rouge un tube de verre de quarante-six pieds de longueur, fermé à l'un de ses bouts, le renverse dans un baquet plein d'eau, et voit le liquide coloré se maintenir en équilibre à une hauteur de trente-deux pieds, variant ainsi l'expérience de Torricelli, et rendant en même temps plus manifeste le fait observé par les fontainiers de Florence. Mais si l'on veut connaître exactement l'état de la physique au milieu du XVIIe siècle, et apprécier sous son vrai jour cette période de l'histoire des sciences, sur laquelle on n'a guère écrit jusqu'à ce moment que pour la dénaturer, il faut savoir comment Pascal lui-même interprétait ce phénomène. Pascal, alors dans toute la force et dans tout l'éclat de son génie, n'hésite pas à expliquer par le vieil axiome de l'horreur du vide tous les faits que l'expérience lui révèle. Il admet et il croit démontrer que la nature a horreur du vide ; il ajoute seulement que cette horreur est limitée, et qu'elle se mesure par le poids d'une colonne d'eau d'environ trente-deux pieds de hauteur (1).

L'agression de Pascal contre les principes de l'école était, comme on le voit, bien timide ; cependant elle souleva des

(1) « La force de cette inclination est limitée et toujours égale à celle avec laquelle l'eau d'une certaine hauteur, qui est environ de trente et un pieds, tend à couler en bas. » (*Œuvres de Blaise Pascal*, 1779, t. IV, p. 67.)

tempêtes dans le monde philosophique. Un jésuite, le Père Étienne Noël, crut devoir prendre en main le défense des saines doctrines. Il écrivit à ce sujet une longue lettre que l'on trouve dans le recueil des œuvres de Pascal, et dont nous recommandons la lecture aux personnes qui désirent se faire une juste idée de la nature des obstacles que la physique eut à combattre à ses débuts.

Pascal repoussa, par une *Réponse* accablante, les arguments de son antagoniste. Mais le jésuite ne se tint pas pour battu, et il répliqua par un traité en forme, sous ce singulier titre : *Le plein du vuide*. Dans la dédicace de ce lourd factum, adressée au prince de Conti, le Père Noël représente la nature comme injustement accusée d'un tort qui ne lui appartient pas; il se constitue son défenseur et porte la parole en son nom :

« La nature, dit-il, est aujourd'hui accusée de vuide et j'entreprends de l'en justifier en présence de *Votre Altesse :* elle en avoit bien été auparavant soupçonnée; mais personne n'avoit encore eu la hardiesse de mettre ses soupçons en fait, et de lui confronter les sens et l'expérience. Je fais voir ici son intégrité, et montre la fausseté des faits dont elle est chargée, et les impostures des témoins qu'on lui oppose. Si elle étoit connue de chacun comme elle l'est de Votre Altesse, à qui elle a découvert tous ses secrets, elle n'auroit été accusée de personne, et on se seroit bien gardé de lui faire un procès sur de fausses dépositions, et sur des expériences mal reconnues et encore plus mal avérées. Elle espère, Monseigneur, que vous lui ferez justice de toutes ces calomnies. Et si, pour une plus entière justification, il est nécessaire qu'elle paie d'expérience et qu'elle rende témoin pour témoin, alléguant l'esprit de *Votre Altesse*, qui remplit toutes ses parties et qui pénètre les choses du monde les plus obscures et les plus cachées, il ne se trouvera personne, Monseigneur, qui ose affirmer qu'au moins, à l'égard de *Votre Altesse*, il y ait du vuide dans la nature. »

Après cette figure délicate, mais un peu prolongée, le Père Noël entre dans son sujet, où nous n'aurons garde de le suivre.

Contentons-nous de dire qu'il attribue la suspension du mercure dans le tube de Torricelli à une qualité qu'il prête de son chef au mercure, et qu'il nomme la *légèreté mouvante* (1).

Par suite de ses discussions avec le Père Noël, Pascal avait été conduit à réfléchir plus profondément sur la cause de l'ascension et de l'équilibre du mercure dans les tubes fermés. Sur ces entrefaites, il fut informé de l'opinion de Torricelli, qui n'hésitait pas à attribuer ce phénomène à la pression de l'air. Une expérience qu'il désigne sous le nom du *vuide dans le vuide*, et dans laquelle il vit le mercure, suspendu dans l'intérieur d'un tube, s'élever ou s'abaisser selon qu'il faisait varier la pression de l'air extérieur, donna à ses yeux une force nouvelle aux vues du physicien romain. Enfin un trait de son génie lui révéla le moyen de résoudre ce grand problème. Pascal pensa que, pour trancher sans retour la difficulté qui divisait les savants, il suffirait d'observer la hauteur du mercure dans le tube de Torricelli, au pied et sur le sommet d'une montagne : si la hauteur de la colonne de mercure était moindre au sommet qu'au bas de la montagne, la pression de l'air serait positivement démontrée, car l'air diminue de masse dans les hautes régions, tandis que l'on ne peut admettre que la nature ait de l'horreur pour le vide au pied d'une montagne et qu'elle le souffre à son sommet. Le Puy-de-Dôme, élevé de 500 toises, et placé aux portes d'une grande ville, lui parut merveilleusement propre à cet important essai ; mais retenu à Paris par une foule d'autres soins, il ne pouvait songer à l'exécuter lui-même. Heureusement son beau-frère Périer, conseiller à la cour des aides d'Auvergne, se trouvait alors à Moulins ; il avait assisté aux expériences faites à Rouen, et il possédait assez de connaissances scientifiques pour que l'on pût se reposer sur lui du soin de procéder à cette vérification avec toute la précision nécessaire.

(1) Voyez, à ce sujet, la réponse de Pascal dans sa *Lettre à M. le Pailleur* (*Œuvres de Pascal*, t. IV, p. 156).

Le 15 novembre 1647, Pascal écrivit donc à Périer pour réclamer de lui ce service (1).

Périer reçut à Moulins la lettre de son beau-frère. Ses occupations de conseiller à la cour des aides le retinrent longtemps dans cette ville, il ne put se rendre à Clermont que dans l'hiver de l'année suivante. Mais, pendant toute la durée du printemps et de l'été, le sommet du Puy-de-Dôme resta enveloppé de brouillards ou couvert de neiges qui en empêchaient l'accès; il ne se dégagea entièrement que dans les premiers jours de septembre.

Le 20 septembre, à cinq heures du matin, le temps paraissait beau, et la cime du Puy-de-Dôme se montrait à découvert : Périer résolut d'exécuter ce jour-là l'expérience depuis si longtemps méditée. Il fit avertir aussitôt les personnes qui devaient l'accompagner, et à huit heures du matin, tout le monde se trouvait réuni dans le jardin du couvent des Minimes : le Père Bannier, ancien supérieur de l'ordre, le Père Mosnier, chanoine de l'église cathédrale de Clermont, La Ville et Begon, conseillers à la cour des aides, et Laporte, médecin de Clermont, furent les témoins et les acteurs de cette expédition mémorable.

Périer prit deux tubes de verre, longs de quatre pieds et fermés par un bout; il les remplit de mercure et fit l'*expérience du vide*, c'est-à-dire les renversa sur un bain de mercure. Il marqua avec la pointe d'un diamant la hauteur occupée dans le tube par la colonne métallique au-dessus du niveau du réservoir ; cette hauteur, plusieurs fois vérifiée, était, dans les deux tubes, de vingt-six pouces trois lignes et demie. L'un de ces tubes fut fixé à demeure et laissé en expérience ; le Père Chastin, un des religieux de la maison, fut chargé de le surveiller et

(1) On trouvera dans les notes de ce volume (Note 1re) l'admirable *Lettre de Pascal à son beau-frère Périer*, chef-d'œuvre de raisonnement, que l'on ne peut lire sans une admiration profonde pour la sagesse et la portée de ce grand esprit.

d'y observer la hauteur du mercure pendant toute la journée. La compagnie quitta alors le couvent, emportant le second tube, et l'on commença à dix heures à gravir la montagne. On atteignit au milieu de la journée son sommet le plus élevé. Arrivé là, Périer répéta l'*expérience du vide* telle qu'il l'avait exécutée le matin dans le jardin des Minimes, et il s'empressa de mesurer l'élévation du mercure au-dessus du réservoir : le liquide, qui, au pied de la montagne, s'élevait à vingt-six pouces trois lignes et demie, ne s'élevait plus qu'à vingt-trois pouces deux lignes ; il y avait donc trois pouces une ligne et demie de différence entre les deux mesures prises à la base et au sommet du Puy-de-Dôme.

Quand ils furent revenus de la surprise et de la joie que leur faisait éprouver une aussi éclatante confirmation des prévisions de la théorie, les expérimentateurs s'empressèrent de répéter l'observation en variant les circonstances extérieures. On mesura cinq fois la hauteur du mercure : tantôt à découvert, dans un lieu exposé au vent, tantôt à l'abri, sous le toit de la petite chapelle qui se trouve au plus haut de la montagne, une fois par le beau temps, une autre fois pendant la pluie, ou au milieu des brouillards qui venaient de temps en temps visiter ces sommets déserts : le mercure marquait partout vingt-trois pouces deux lignes.

On se mit alors à redescendre. Arrivé vers le milieu de la montagne, Périer jugea utile de répéter l'observation, afin de reconnaître si la colonne de mercure décroissait proportionnellement avec la hauteur des lieux. L'expérience donna le résultat prévu : le mercure s'élevait à vingt-cinq pouces, mesure supérieure d'un pouce dix lignes à celle qu'on avait prise sur le haut du Puy-de-Dôme, et inférieure d'un pouce trois lignes à l'observation prise à Clermont-Ferrand. Périer fit deux fois la même épreuve, qui fut répétée une troisième fois par le Père Mosnier : ainsi le niveau du mercure s'abaissait selon les hauteurs.

Les heureux expérimentateurs étaient de retour au couvent avant la fin de la journée. Ils trouvèrent le Père Chastin continuant d'observer son appareil. Le patient religieux leur apprit que la colonne de mercure n'avait pas varié une seule fois depuis le matin. Comme dernière confirmation, Périer remit en expérience l'appareil même qu'il rapportait du Puy-de-Dôme : le mercure s'y élevait, comme le matin, à la hauteur de vingt-six pouces trois lignes et demie.

Le lendemain, le Père de La Mare, théologal de l'église cathédrale, qui avait assisté la veille à tout ce qui s'était passé dans le couvent des Minimes, proposa à Périer de répéter l'expérience au pied et sur le faîte de la plus haute des tours de l'église Notre-Dame à Clermont. On trouva une différence de deux lignes entre les deux mesures prises à la base et au sommet de la tour. Enfin, en déterminant comparativement la hauteur du mercure dans le jardin des Minimes, situé dans une des positions les plus basses de la ville, et sur le point le plus élevé de la même tour, on constata une différence de deux lignes et demie.

Périer s'empressa d'informer son beau-frère du grand résultat que l'expérience venait de lui fournir ; Pascal en reçut la nouvelle avec une joie facile à comprendre. D'après la relation de Périer, une différence de vingt toises d'élévation dans l'air suffisait pour produire, dans la colonne de mercure, un abaissement de deux lignes. Pascal pensa, d'après cela, qu'il serait facile de répéter l'expérience à Paris. Il l'exécuta en effet sur la tour Saint-Jacques la Boucherie, haute de vingt-cinq toises. Il trouva entre la hauteur du mercure, au bas et au sommet de cette tour, une différence de plus de deux lignes. Dans une maison particulière, dont l'escalier avait quatre-vingt-dix marches, il prit la même mesure dans la cave et sur les toits ; il put reconnaître ainsi un abaissement d'une demi-ligne.

Ainsi, les prévisions de Pascal étaient confirmées dans toute leur étendue ; la maxime de l'horreur du vide n'était plus qu'une

chimère condamnée par l'expérience, et un horizon nouveau s'offrait à l'avenir des sciences physiques. La découverte de la pesanteur de l'air et la mesure de ses variations à l'aide du tube de Torricelli devinrent en effet le point de départ et l'origine des grands travaux qui devaient élever la physique sur les bases positives où elle repose aujourd'hui. Le tube de Torricelli, dont Pascal venait de faire un admirable moyen de mesurer la pression atmosphérique, apporta aux observateurs un secours de la plus haute importance, en ce qu'il permit de soumettre au calcul et de ramener à des conditions comparables un grand nombre de phénomènes naturels qu'il importait d'étudier. Pascal ne manqua pas de saisir toute la portée du principe fondamental qu'il venait de mettre en lumière, et le fait de la pression que l'air atmosphérique exerce sur tous les corps qui nous environnent lui permit d'expliquer plusieurs phénomènes physiques dont la cause s'était dérobée jusque-là à toute interprétation. L'ascension de l'eau dans les pompes, le jeu du siphon, et divers autres faits particuliers du même ordre, reçurent de lui l'explication la plus nette et la mieux fondée.

La découverte de la pesanteur de l'air produisit parmi les savants l'impression la plus vive ; les partisans de l'opinion du plein universel furent réduits au silence. Cependant il manquait encore quelque chose à la démonstration complète de l'existence du vide et de la pesanteur de l'air. En montrant qu'une colonne de mercure est tenue en équilibre, dans un tube vide, par le poids de l'atmosphère, on ne prouvait la pesanteur de l'air que d'une manière indirecte, et ce moyen ne pouvait servir d'ailleurs à peser un volume d'air déterminé. Il fallait, pour achever la démonstration, donner aux physiciens les moyens de peser un vase tantôt plein, tantôt vide d'air. Aussi les savants s'occupèrent-ils dès ce moment avec beaucoup d'ardeur à combiner quelque instrument susceptible de produire le vide dans un espace clos.

C'est à un physicien de Magdebourg, Otto de Guericke, conseiller de l'électeur Frédéric-Guillaume et bourgmestre de la ville de Magdebourg, qu'était réservée la gloire de découvrir l'important appareil que nous connaissons aujourd'hui sous le nom de *machine pneumatique*.

La machine pneumatique n'a été imaginée et construite par Otto de Guericke qu'après une série de tâtonnements et d'essais à peu près ignorés de nos jours, et qu'il n'est pas cependant sans intérêt de connaître. Pour obtenir un espace entièrement vide d'air, le physicien de Magdebourg essaya d'abord de se servir d'un tonneau rempli d'eau et fermé de toutes parts. Après avoir appliqué à sa partie inférieure le tuyau d'une pompe à incendie, il commença à faire jouer la pompe ; mais avant que l'eau fût entièrement évacuée, les cercles de fer qui reliaient les douves du tonneau s'étaient rompus sous l'effort de la pression atmosphérique. Otto de Guericke arma alors le tonneau de cercles beaucoup plus forts, et trois hommes vigoureux furent employés à faire agir la pompe. Mais à mesure que l'eau était expulsée, un léger sifflement se faisait entendre : l'air s'introduisait à travers les pores du bois. Force fut de chercher un nouveau moyen. Otto de Guericke eut alors l'idée d'enfermer un tonneau rempli d'eau et de petite dimension, dans un autre plus grand et également plein d'eau ; le tuyau de la pompe aspirante venait s'appliquer à l'orifice du petit tonneau intérieur en traversant le tonneau extérieur. On fit alors jouer la pompe. Aucun accident ne vint contrarier l'expérience ; mais à la fin de la journée, et lorsque l'eau se trouvait évacuée presque tout entière, on entendit un gargouillement qui annonçait le passage de l'air à travers la substance des deux tonneaux. Ce bruit persista trois jours, et lorsque, au bout de ce temps, on retira le tonneau intérieur pour l'examiner, on le trouva à moitié rempli du liquide qui s'était fait jour à travers ses parois.

L'insuffisance des vases de bois pour obtenir un espace vide

d'air étant ainsi reconnue, Otto de Guericke eut recours à des vases métalliques. Il fit préparer une sphère de cuivre d'une assez grande capacité, armée d'un robinet à sa partie supérieure et portant à sa partie inférieure un orifice destiné à recevoir le tuyau de la pompe. Il se dispensa pour cette fois de remplir d'eau le vase, espérant que la pompe aspirerait l'air comme elle avait aspiré l'eau. Ce résultat ne manqua pas de se produire. Dans les premiers moments, la pompe jouait avec facilité ; mais à mesure que l'air était chassé, il fallait, pour soulever le piston, des efforts de plus en plus considérables, et c'est à peine si deux hommes vigoureux pouvaient suffire à ce travail. L'opération était assez avancée et la plus grande partie de l'air se trouvait chassée du globe métallique, lorsque tout à coup, et au grand effroi des assistants, le vase éclata avec grand bruit et se brisa, « comme si on l'eût jeté avec violence du haut d'une tour (1). » Otto de Guericke saisit avec sagacité la cause de cet accident : l'ouvrier avait négligé de donner au vase de cuivre une forme parfaitement sphérique dans toutes ses parties ; or la forme sphérique est la seule qui puisse garantir un récipient vide d'air des effets de la pression considérable que le poids de l'air extérieur exerce sur lui dans tous les sens. Un nouvel appareil ayant été construit avec les soins nécessaires, l'expérience, reprise, eut un succès complet, et l'air fut en totalité expulsé, sans autre accident, du récipient métallique. Mais l'opacité du métal eût dérobé aux yeux les expériences auxquelles on destinait la machine ; Otto remplaça donc la sphère de cuivre par un ballon de verre qui s'ajustait à la pompe aspirante au moyen d'une garniture de cuivre. En définitive, la machine à laquelle il s'arrêta, et que l'on trouve encore dans les anciens cabinets de physique, présentait la forme suivante :

(1) « *Vel ac si globus ab altissima turre lapsu graviore projectus fuisset.* » (*Ottonis de Güericke experimenta nova Magdeburgica de vacuo spatio*, p. 75.)

Un ballon de verre, muni d'une tubulure et d'un robinet de cuivre, est vissé sur le tuyau d'une petite pompe aspirante placée verticalement au-dessous de lui ; une manivelle à bras horizontal sert à faire jouer la pompe ; tout l'appareil est supporté par un montant formé de trois pieds de fer.

Cette machine était imparfaite à bien des égards ; son inconvénient principal tenait à la forme du récipient, qui ne permettait point d'y introduire des corps d'un certain volume. Elle suffit néanmoins à l'ingénieux physicien de Magdebourg pour démontrer une série de vérités qui jetèrent sur les faits physiques les plus utiles lumières. Otto de Guericke démontra matériellement le poids de l'air atmosphérique, en pesant un vase dans lequel le vide avait été fait au moyen de sa machine, et en le pesant de nouveau après la rentrée de l'air. Poursuivant la voie ouverte par Pascal, il expliqua, par le fait de la pression atmosphérique et par l'élasticité de l'air, un grand nombre de faits qui jusque-là avaient paru inexplicables. Il mit hors de doute, par exemple, l'influence de l'air sur la propagation du son, son rôle dans la translation de la lumière, dans les phénomènes de la combustion, de la respiration et de la vie des animaux.

Mais de tous les faits remarquables dont le bourgmestre de Magdebourg enrichissait la physique naissante, aucuns n'excitèrent d'étonnement plus vif ni d'admiration plus méritée, que la série d'effets mécaniques véritablement extraordinaires auxquels il donna naissance en mettant adroitement en jeu la pression atmosphérique. L'expérience connue sous le nom des *hémisphères de Magdebourg* attira l'attention de tout le monde savant, autant par l'originalité et la beauté du fait en lui-même, que par l'importance des résultats mécaniques qu'elle laissait entrevoir. Cette expérience est si généralement connue, que c'est à peine s'il est nécessaire de la rappeler. On sait qu'Otto de Guericke, ayant préparé deux demi-sphères de cuivre réunies

l'une à l'autre par l'interposition d'un cuir mouillé, opéra le vide dans l'intérieur de cette sphère à l'aide de sa machine pneumatique. L'air une fois chassé de l'intérieur du globe, les deux demi-sphères se trouvaient pressées l'une contre l'autre par tout le poids de la colonne atmosphérique qu'elles supportaient, et cette pression était si considérable, qu'elles résistaient à toutes les forces employées pour les désunir. Le premier appareil de ce genre, construit par Otto de Guericke, avait un diamètre de trois quarts d'aune de Magdebourg. Il fit atteler à deux anneaux fixés à chacun des hémisphères seize chevaux qui, tirant horizontalement en sens contraire, ne purent vaincre la résistance que l'air opposait à leur séparation. Le même appareil, suspendu au plafond d'une chambre, supportait un poids de 2,686 livres. On construisit ensuite une autre sphère d'une aune de diamètre; l'effort de vingt-quatre chevaux ne put rompre l'adhérence de ses deux parties : les hémisphères supportaient, sans se séparer, un poids de 5,400 livres.

Otto de Guericke varia de cent manières cette curieuse démonstration de la pesanteur de l'air et de ses effets mécaniques. En 1654, pendant son séjour à Ratisbonne, où l'appelait son emploi de conseiller de l'électeur de Brandebourg, il exécuta devant le prince de Auerberg, envoyé de l'empereur, une expérience des plus remarquables sous ce rapport. Il vissa à un cylindre métallique le récipient de verre de sa machine pneumatique, dans lequel on avait fait préalablement le vide. Dans l'intérieur du cylindre, jouait un piston auquel était attachée, par un anneau, une corde s'enroulant sur une poulie : vingt personnes étaient employées à retenir la corde. Tout ainsi disposé, Otto de Guericke ouvrit subitement le robinet du ballon; l'air contenu dans le cylindre se précipita dans l'intérieur du ballon vide pour en remplir la capacité, et dès lors la pression atmosphérique qui s'exerçait sur la tête du piston, n'étant plus contrebalancée sur sa face inférieure, abaissa aussitôt le piston

jusqu'au fond du cylindre avec tant de violence que les vingt personnes qui retenaient la corde se trouvèrent soulevées en l'air à plusieurs pieds de hauteur.

Ce n'était pas sans raison que tous les savants de l'Europe suivaient avec un intérêt et une curiosité extraordinaires les expériences qui s'exécutaient en Allemagne sur les étonnants effets de la pression atmosphérique ; ce n'est pas sans motifs non plus que nous les avons rappelées avec détail. Par l'effet de la transformation sociale qui, depuis un siècle, était en train de s'accomplir, l'industrie commençait chez tous les peuples à prendre son essor. Cependant l'âme manquait au grand corps qui s'organisait : l'industrie n'avait point de moteur, ou n'avait que des moteurs insuffisants. La force des hommes et des chevaux, la puissance des vents, l'action des torrents et des cours d'eau, insuffisantes dans bien des cas sous le rapport de l'intensité motrice, faisaient défaut dans beaucoup de localités, ou ne pouvaient s'appliquer commodément et avec économie aux besoins de l'industrie. Or, quand on se rappelait que, d'après les découvertes de Pascal, chaque décimètre carré (pour employer les mesures de nos jours) de la surface de tous les corps placés sur la terre, supporte, par l'effet de la pression atmosphérique, un poids équivalent à 100 kilogrammes, et quand on voyait Otto de Guericke apporter le moyen pratique d'anéantir, à un moment donné, la résistance qui s'oppose à la manifestation de cette force, on ne pouvait s'empêcher d'espérer une application prochaine de ce remarquable fait. Tous les physiciens de cette époque étaient frappés de la grandeur et de l'avenir de cette idée, et chacun pressentait qu'il y avait dans les expériences du bourgmestre de Magdebourg les préludes d'une révolution capitale dans les moyens de l'industrie.

Lorsque, par le progrès des temps, les sciences ont amassé un certain nombre de faits théoriques susceptibles de s'appliquer utilement aux besoins des hommes, il est rare que quelque

grand esprit n'apparaisse pas, au moment nécessaire, pour tirer de ces notions générales les conséquences qu'elles renferment, et pour hâter l'instant où l'humanité doit être mise en possession de ces biens nouveaux. L'homme de génie qui devait féconder pour l'avenir l'ensemble des belles découvertes dont le récit vient de nous occuper, ne se fit pas attendre : il était Français et s'appelait Denis Papin.

CHAPITRE V.

Denis Papin. — Sa vie et ses travaux.

Papin naquit à Blois, le 22 août 1647, d'une famille considérée dans le pays, et qui appartenait à la religion réformée. Il était fils d'un médecin et avait pour parent Nicolas Papin, autre médecin connu par quelques ouvrages scientifiques. On ne sait rien sur son enfance ni sur les événements de sa jeunesse; il paraît seulement qu'il avait ressenti de bonne heure un goût très vif pour les sciences mathématiques. L'éducation publique était alors, dans la ville de Blois, entre les mains des jésuites, qui, comme on le sait, donnaient à cette époque une assez grande part à l'étude des sciences. Les protestants fréquentaient quelquefois les écoles des jésuites : Papin dut recevoir chez eux ses premières leçons de mathématiques. Il fit à Paris ses études médicales. Cependant ce n'est pas dans cette université qu'il reçut son grade de docteur, car son nom ne figure pas sur la liste des gradués de la Faculté de Paris, publiée en 1752, et qui comprend les noms de tous les docteurs, à partir de l'année 1539. Orléans possédait une université; il est donc probable que ce fut dans la capitale de sa province que Denis Papin alla

recevoir son grade. Quoi qu'il en soit, on le trouve à l'âge de vingt-quatre ans établi à Paris pour y exercer sa profession. Mais son inclination naturelle pour les sciences physiques lui rendait sans doute plus aride le pénible sentier de la carrière médicale; il ne tarda pas à tourner exclusivement son esprit vers les travaux de physique expérimentale et de mécanique appliquée. Il avait rencontré quelques protecteurs puissants qui favorisaient son goût pour ce genre de recherches. « J'avois alors, nous dit-il lui-même, l'honneur de vivre à la bibliothèque du roi et d'aider M. Huygens dans un grand nombre de ses expériences. J'avois beaucoup à faire touchant la machine pour appliquer la poudre à canon à lever des poids considérables, et j'en fis l'essai moi-même quand on la présenta à M. de Colbert (1). » Le célèbre Huygens, l'inventeur des horloges à pendule, habitait alors notre capitale, pendant que son père, Constantin Huygens, gentilhomme hollandais, s'y occupait de diplomatie. Il avait consenti à se fixer en France, sur les instances de Colbert, qui, en fondant l'Académie des sciences, l'avait inscrit l'un des premiers sur la liste de ses membres. Pour décider le savant hollandais à résider en France, Colbert lui faisait une forte pension, et lui avait accordé un logement à la Bibliothèque royale. Papin prêtait son aide à Huygens pour ses expériences de mécanique, et partageait son logement. Il avait dû cette position avantageuse à la protection de madame Colbert, femme d'un grand mérite, originaire de Blois, et à laquelle, selon Bernier, « une infinité de gens de ce pays devaient leur fortune (2). »

Papin publia son premier ouvrage à Paris, en 1674, sous ce titre : *Nouvelles expériences du vuide, avec la description des machines qui servent à le faire.* Ce petit écrit, qui n'existe plus de nos jours, contenait la description de certaines modifi-

(1) *Acta eruditorum Lipsiæ*, septembre 1688.
(2) *Histoire de Blois*, 1782. Épître-dédicace.

cations de faible importance apportées à la machine du bourgmestre de Magdebourg (1). Les *Nouvelles expériences du vuide* furent accueillies avec faveur. M. Hublin, célèbre émailleur du roi et ami particulier de Papin, présenta l'ouvrage à l'Académie des sciences, et le *Journal des savants* le signala avec éloges.

La carrière s'ouvrait donc pour le jeune physicien sous les plus heureux auspices. Le petit nombre d'hommes instruits qui se trouvaient alors dans la capitale tenaient dans la plus grande estime sa personne et ses talents, et le *Journal des savants*, dispensateur de la considération et de la fortune scientifiques, l'accueillait avec faveur. Cependant, une année après, nous voyons Papin quitter subitement la France pour passer en Angleterre. Quel motif pouvait le porter à abandonner sa patrie? Avait-il encouru la disgrâce de Colbert? Obéissait-il simplement à cette humeur un peu vagabonde qui le fit désigner par un de ses contemporains sous le nom de *philosophe cosmopolite?* On l'ignore. Les historiens et les auteurs de mémoires de la fin du XVIIe siècle, tout entiers au récit des intrigues de cour ou des sanglants épisodes de nos guerres, n'ont pas une ligne à consacrer à ces esprits d'élite qui employaient tous les moments de leur laborieuse existence à préparer à l'humanité des destinées meilleures, et qui souvent ne recevaient en retour que la misère ou l'oubli. Le nom d'Amontons, l'un des physiciens français les plus remarquables du XVIIe siècle, est à peine prononcé dans les écrits de l'époque, et le génie de Mariotte s'éteignit au milieu de l'indifférence de son temps. Papin n'a pas attiré davantage l'attention des historiens. C'est dans ses propres ouvrages, dans un petit nombre de recueils scientifiques, ou dans les lettres

(1) Les modifications apportées par Denis Papin à la machine pneumatique d'Otto de Guericke se trouvent reproduites dans un article de lui, imprimé dans les *Actes de Leipsick*, au mois de juin 1687, sous ce titre : *Augmenta quædam et experimenta nova circa antliam pneumaticam, facta partim in Anglia, partim in Italia.*

éparses de quelques savants dont la correspondance s'est conservée, qu'il faut aller puiser les rares documents qui nous restent sur les événements de sa vie. Tous ces documents sont muets sur la cause de son départ pour Londres; le *Journal des savants* nous apprend seulement que c'est à la fin de l'année 1675 qu'il quitta Paris (1).

Peu de temps après son arrivée en Angleterre, Papin eut l'heureuse inspiration de se présenter à Robert Boyle, l'illustre fondateur de la Société royale de Londres. C'est ce que nous apprend Boyle lui-même : « Il arriva heureusement, dit-il, qu'un certain traité françois, petit de volume, mais très ingénieux, contenant plusieurs expériences sur la conservation des fruits, et quelques autres points de différentes matières, me fut remis par M. Papin, qui avoit joint ses efforts à ceux de l'éminent Christian Huygens pour faire lesdites expériences (2). » Dans la suite de l'entretien qu'il eut avec lui, apprenant « que le docteur Papin n'étoit arrivé de France en Angleterre que depuis peu de temps, dans l'espoir d'y trouver un lieu qui fût convenable à l'exercice de son talent, » Boyle résolut de l'associer à ses travaux.

Aucune position ne pouvait mieux convenir aux goûts et aux désirs de Papin. Issu d'une grande famille de l'Irlande, Robert Boyle, pour se vouer tout entier à l'étude des sciences, avait renoncé aux avantages que lui assuraient sa fortune et son rang. Il avait consacré six années de sa jeunesse à voyager sur le continent, pour perfectionner ses connaissances et fuir le spectacle des troubles civils qui déchiraient sa patrie. A son retour en Angleterre, la lutte durait encore entre le parlement et la royauté ; Boyle se retira dans sa terre de Stuldbridge, et c'est là qu'au sein de la retraite et de la paix, loin du tumulte des

(1) *Journal des savants* du 17 février 1676.
(2) *Roberti Boyle opera varia*. Genève, 1682, t. II.

villes et de l'agitation des partis, il poursuivait les beaux travaux qui devaient le placer à un rang si élevé dans la reconnaissance et l'admiration de son pays. Il réunissait autour de lui un certain nombre d'hommes distingués, qui cherchaient dans la culture des sciences et des arts un asile contre les dissensions du dehors. Cette réunion, qui portait le nom de *Collége philosophique*, se rassemblait sous sa direction, tantôt à Oxford, tantôt à Londres. Lorsqu'en 1660, Charles II monta sur le trône d'Angleterre, il fonda, des débris de cette réunion nomade, la *Société royale de Londres*, que Boyle fut chargé d'organiser. L'illustre savant refusa de présider cette société, il rejeta même les honneurs de la pairie, pour reprendre le cours de ses travaux scientifiques.

Boyle s'était occupé avec succès de continuer les recherches d'Otto de Guericke sur le vide et la pression atmosphérique ; il avait publié ses expériences sur ce sujet, laissant à d'autres le soin de les poursuivre. Lorsque Papin arriva en Angleterre, il pensait néanmoins à les reprendre, mais il ne trouvait personne pour le seconder. L'habileté de Papin et ses études spéciales sur la machine pneumatique lui rendaient son secours utile de toute manière ; il l'admit donc dans son laboratoire. Commencées le 11 juillet 1676, les expériences qu'ils exécutèrent ensemble furent continuées jusqu'au 17 février 1679. Parmi ces expériences, il faut citer leurs recherches relatives à la vapeur de l'eau bouillante, qui plus tard devaient porter leurs fruits entre les mains du savant français. Boyle reconnaît avec beaucoup de loyauté que les services de Papin lui furent d'une grande utilité, et qu'il était d'une habileté rare dans la construction et le maniement des appareils de physique : « Plusieurs des machines dont nous faisions usage, dit-il, particulièrement la machine pneumatique à deux corps de pompe et le fusil à vent, étaient de son invention, et en partie fabriqués de sa main. »

L'amitié de Robert Boyle et le mérite de ses travaux ouvrirent à Papin les portes de la Société royale de Londres. Il y fut admis le 16 décembre 1680, et ne tarda pas à se placer à un rang distingué parmi les membres de cette compagnie célèbre. C'est peu de temps après, en 1681, qu'il fit connaître pour la première fois, dans un ouvrage écrit en anglais, sous le titre de *New digester*, l'appareil qui a reçu en France le nom de *digesteur* ou de *marmite de Papin* (1). Le digesteur, selon Papin, permettait de cuire les viandes en peu de temps et à peu de frais, tout en améliorant leur goût. Il donnait en même temps le moyen de ramollir les os, c'est-à-dire de les transformer en une substance qui a reçu de nos jours le nom de *gélatine*, ce qui ajoutait à la quantité de matière nutritive contenue dans les diverses parties du corps des animaux. Cet appareil, qui a été renouvelé de nos jours sous le nom d'*autoclave*, est loin cependant d'avoir réalisé les promesses de l'inventeur; les viandes cuites par ce moyen contractent une saveur ammoniacale. Aussi, quoique Leibnitz ait dit dans une de ses lettres : « Un de mes amis me mande avoir mangé un pâté de pigeonneaux préparé de la sorte par le digesteur, et qui s'est trouvé excellent (2), » il est permis de contester l'utilité de ce procédé de cuisine économique.

La marmite de Papin était munie d'un appareil connu de nos jours sous le nom de *soupape de sûreté*, et qui constitue l'un des organes les plus importants de la machine à vapeur moderne. Tout le monde s'accorde à ajouter la plus haute importance à la découverte de cet appareil, que l'on regarde

(1) La traduction française du *New digester* fut publiée à Paris, en 1682, par Comiers, sous ce titre : *La manière d'amollir les os et de faire cuire toutes sortes de viandes en fort peu de temps et à peu de frais, avec une description de la machine dont il se faut servir pour cet effet, ses propriétés et ses usages, confirmés par plusieurs expériences, nouvellement inventée par M. Papin, docteur en médecine.*

(2) *Opera*, in-4°, 1768, t. I, p. 165.

comme le prélude des travaux de Papin sur la vapeur. Au risque de paraître soutenir un paradoxe, nous oserons nous séparer encore sur ce point de l'opinion commune. Comme nous nous sommes proposé d'appuyer sur des textes authentiques les principaux faits exposés dans ce récit, nous citerons le passage original du livre de Papin sur le digesteur. On verra ainsi que la soupape de sûreté a une origine beaucoup plus humble qu'on ne l'imagine.

Papin commence par donner la description de son digesteur. L'appareil se compose de deux cylindres creux rentrant l'un dans l'autre : le premier, à parois métalliques très épaisses, renferme l'eau que l'on doit convertir en vapeur ; le second, plus petit, sert à contenir les viandes. Tout l'appareil est fermé par un épais couvercle métallique s'adaptant parfaitement aux contours du cylindre, auquel il est fixé par des écrous très solides : quand on veut s'en servir, on le place sur un fourneau allumé. La marmite de Papin n'est donc qu'une sorte de bain-marie, dans lequel seulement la vapeur, renfermée dans un espace clos, ne peut se dégager au dehors. Après avoir donné la description de sa marmite, Papin ajoute :

« Cette machine est sans doute fort simple et peu sujette à se gâter, mais elle est incommode en ce qu'on ne regarde pas dedans aussi aisément que dans le pot ordinaire, et comme elle fait plus ou moins d'effet, selon que l'eau qui y est se trouve plus ou moins pressée, et aussi que la chaleur est plus ou moins grande, il pourrait arriver quelquefois que vous tireriez vos viandes avant qu'elles fussent cuites, et d'autres fois que vous les laisseriez brûler ; ainsi il a fallu chercher des moyens pour connaître et la quantité de pression qui est dans la machine, et le degré de chaleur.

» Il n'y a qu'à faire un petit tuyau ouvert des deux bouts, et, l'ayant soudé sur un trou fait au couvercle, il faut appliquer sur l'ouverture d'en haut de ce tuyau une petite soupape bien exacte et garnie de papier. »

Pour connaître le degré de la pression de la vapeur, Papin

fermait cette soupape au moyen d'une petite verge de fer qui, fixée par une de ses extrémités à une charnière, portait, à l'autre bout, un poids mobile à la manière des romaines. Il avait déterminé la pression nécessaire pour soulever ce poids.

« De sorte, ajoute-t-il, que lorsque la soupape laisse échapper quelque chose, je conclus que la pression dans le bain-marie est environ huit fois plus forte que la pression de l'air, puisqu'elle peut soulever, non-seulement le poids qui résiste à six pressions, mais aussi la verge que j'ai éprouvée, qui résiste à deux, et ainsi, en augmentant ou diminuant le poids, ou en le changeant de place, je connais toujours à peu près combien la pression est forte dans la machine (1). »

Ainsi Papin n'avait imaginé son levier et sa soupape que pour *savoir ce qui se passait dans le pot*, et pour veiller à l'exacte cuisson des viandes. En faisant varier la position occupée par le poids sur le bras de la romaine, il reconnaissait approximativement le degré de pression auquel se trouvaient soumises les viandes placées dans le bain-marie. A cette époque, en effet, il était loin encore de songer à construire une machine fondée sur la force élastique de la vapeur d'eau ; et bien plus, lorsqu'il proposa cette machine, il ne pensa nullement à la munir de sa soupape. L'idée d'appliquer un tel instrument à prévenir l'explosion de la chaudière d'une machine à vapeur ne lui vint que vingt-cinq ans plus tard, en 1705, c'est-à-dire quinze années après la publication du célèbre mémoire de 1690, dans lequel il donne la description de la première des machines de ce genre. C'est le physicien Désaguliers qui transporta le premier dans la pratique cette idée de Papin. En 1717, Désaguliers appliqua, en Angleterre, à une machine de Savery, la soupape du digesteur de Papin, que ce dernier avait proposée

(1) *La manière d'amollir les os*, p. 10.

comme un moyen de se mettre à l'abri des explosions auxquelles cette machine donnait lieu. La construction du digesteur n'a donc exercé aucune influence sur la découverte de la machine à feu; si elle y contribua en quelque chose, ce ne fut guère qu'en familiarisant l'inventeur avec l'usage pratique de la vapeur d'eau.

Depuis la publication de son *New digester*, Papin se trouvait à Londres dans une position plus avantageuse peut-être que celle qu'il avait occupée à Paris. Il appartenait à la Société royale, la première des Académies de l'Europe ; en outre, la protection de Robert Boyle lui permettait d'espérer beaucoup, car ce savant illustre, successivement honoré de l'estime de Charles II, de Jacques II et de Guillaume, savait user en faveur de ses amis d'un crédit qu'il dédaignait pour lui-même. D'un autre côté, il continuait à entretenir avec son pays de bonnes relations ; on insérait régulièrement dans le *Journal des savants* les communications qu'il adressait. Aussi ne peut-on se défendre d'un certain sentiment de dépit contre son humeur vagabonde, lorsqu'on le voit déserter tout d'un coup le sol hospitalier qui l'a reçu, et de même qu'il avait abandonné la France pour l'Angleterre, abandonner l'Angleterre pour l'Italie. Le chevalier Sarroti, secrétaire du sénat de Venise, venait de fonder dans cette ville, par l'ordre du sénat, une nouvelle Académie, en vue du perfectionnement des sciences et des lettres, « avec une dépense et une générosité tout à fait extraordinaires, » dit Papin (1). Sarroti offrit au physicien français une position dans cette Société, et Papin accepta un peu à l'étourdie. Il résulte d'une lettre de lui, datée d'Anvers le 1er mars 1681, et adressée au docteur Croune, que depuis peu de jours il avait quitté l'Angleterre. Dans cette lettre, il priait son ami de remettre sa machine à la Société, à laquelle il offrait en

(1) *Journal des savants*, 1684, p. 82.

même temps ses services en quelque lieu qu'il se trouvât. La Société royale, qui le vit partir avec regret, tint note de la promesse, et inscrivit son nom sur la liste de ses membres honoraires.

Papin séjourna plus de deux ans à Venise, occupé presque sans relâche à des expériences de physique. Ses travaux lui acquirent chez les Italiens une grande réputation. La mention seule de son opposition aux idées du respectable Guglielmini sur une question d'hydraulique « faisait peur à ce savant, » et plusieurs années après sa mort, un physicien florentin parle de « la célèbre machine, le *digesteur*, inventée par Papin, pour expliquer la cause des volcans et des tremblements de terre, débattue depuis des milliers d'années par les Babyloniens, les Grecs, les Romains, et tous les philosophes anciens et modernes. » Cependant il finit par s'apercevoir qu'il fallait beaucoup rabattre de la « générosité tout à fait extraordinaire » du chevalier Sarroti. En même temps que sa renommée grandissait, il voyait chaque jour s'amoindrir ses ressources, et il vint un moment où, désespérant de trouver en Italie la position avantageuse sur laquelle il avait compté, il dut prendre le parti de laisser à leurs travaux le chevalier Sarroti et ses académiciens.

En quittant Venise, Papin revint directement en Angleterre : il espérait y ramasser les lambeaux de son crédit et de sa fortune. Mais ses longues pérégrinations avaient refroidi le zèle de ses amis, et tout ce qu'il put obtenir, ce fut d'entrer en qualité de pensionnaire à la Société royale. Il fut chargé d'exécuter les expériences ordonnées par l'Académie, et de copier sa correspondance ; il recevait pour toute rétribution la somme de 62 francs par mois.

C'est pendant ce second séjour en Angleterre qu'il conçut et exécuta la première machine qui devait le mettre sur la trace de sa découverte des applications de la vapeur.

Nous avons insisté sur l'importance que l'on attachait, à la

fin du XVIIe siècle, à l'emploi mécanique de la pression de l'air; on y voyait le moyen de doter l'industrie du moteur qui lui manquait. Depuis les recherches qu'il avait effectuées avec Boyle sur la machine pneumatique, Papin nourrissait plus particulièrement cette grande pensée. Il crut avoir découvert le moyen de la réaliser, en employant, comme moteur direct, la machine pneumatique exécutée en grand. Tel était son dessein lorsqu'il présenta, en 1687, à la Société royale, le modèle d'une machine destinée à *transporter au loin la force des rivières.* Cette machine se composait de deux vastes corps de pompe dont les pistons étaient mis en jeu par une chute d'eau, et qui servaient à faire le vide dans l'intérieur d'un long tuyau métallique. Une corde attachée à l'extrémité de la tige du piston devait transmettre une force motrice considérable, lorsque, par l'effet de la pression atmosphérique, le piston, violemment chassé dans l'intérieur du tuyau, entraînerait avec lui les poids qui le retenaient (1). C'était, comme on le voit, le principe de nos chemins de fer atmosphériques, sur lesquels nous aurons à appeler l'attention dans le cours de ce volume. Cependant les essais auxquels on soumit cette machine en 1687, devant la Société royale, ne donnèrent que de mauvais résultats, soit en raison de la difficulté de maintenir le vide dans un long tuyau métallique, soit par suite de la lenteur extrême avec laquelle le mouvement se communiquait du piston aux fardeaux qu'il devait entraîner.

Papin avait fondé beaucoup d'espérances sur le succès de son appareil; cet échec les détruisait sans retour. De tristes lueurs commençaient à assombrir l'horizon du philosophe. Son

(1) La description de cette machine a été publiée par Papin dans les *Actes de Leipsick* (*Acta eruditorum Lipsiæ*), décembre 1688, p. 644, sous ce titre : *De usu tuborum prægrandium ad propagandam in longinquàm vim motricem fluviorum.* Elle a été reproduite dans un autre ouvrage de Papin : *Recueil de pièces diverses*, imprimé à Cassel en 1695.

séjour en Italie avait absorbé les faibles ressources de son patrimoine, et la rémunération de 62 francs par mois qu'il recevait de la Société royale était par trop insuffisante pour ses besoins. Il reporta alors sa pensée vers la France ; mais les portes de sa patrie lui étaient fermées : l'impolitique et inique révocation de l'édit de Nantes, portée en 1685, frappait dans leur fortune et dans leurs droits les protestants français. Aux termes de cet arrêt, l'exercice de la médecine, de la chirurgie et de la pharmacie, était interdit aux membres de la religion réformée. Papin aurait pu faire tomber d'un seul mot les barrières qui le séparaient de son pays, entrer à l'Académie des sciences, où sa place était depuis longtemps marquée, et recevoir les traitements flatteurs que l'on prodiguait, trois ans après, à son cousin Isaac Papin, dont l'exil fit fléchir le courage, et qui abjura en 1690 entre les mains de Bossuet. Il préféra un exil éternel à la honte d'une abjuration. En 1687, le landgrave Charles, électeur de Hesse, lui offrit une chaire de mathématiques à Marbourg. Malgré les préoccupations de la politique et de la guerre, ce prince éclairé s'était toujours plu à suivre et à encourager ses travaux. Papin s'empressa d'accepter l'offre de l'électeur. Il écrivit au secrétaire de la Société royale pour l'informer de la résolution qu'il avait prise, et le prier de lui faire compter l'arriéré de son traitement. Le trésorier reçut l'ordre de faire droit à cette demande ; la Société décida en même temps, dans sa séance du 14 décembre 1687, que le docteur Papin recevrait en présent quatre exemplaires de l'*Histoire des poissons*, comme un témoignage des bons services qu'elle avait reçus de lui. Papin emporta ses quatre exemplaires de l'*Histoire des poissons ;* mais c'était la perle de la fable : il est à croire que le *grain de mil* eût mieux convenu à l'état de ses affaires.

Arrivé à Marbourg, Papin commença ses leçons publiques de mathématiques. Ce nouveau métier, auquel il était peu fait, ne fut pas sans lui causer quelques ennuis et quelques difficultés au

début. Néanmoins il reprit bientôt la suite de ses travaux accoutumés.

L'emploi du vide et de la pression atmosphérique, utilisés directement comme force motrice, avait mal réussi dans son appareil à double pompe pneumatique. Il espéra mieux remplir le grand dessein qu'il se proposait en construisant une autre machine, également fondée sur l'emploi de la pression de l'air, mais dans laquelle le vide, au lieu d'être déterminé par le jeu d'une pompe pneumatique, serait obtenu en faisant détoner de la poudre à canon sous le piston de cette pompe. La poudre, brûlée dans un cylindre fermé par une soupape et parcouru par un piston, dilatait l'air par l'effet de la chaleur dégagée pendant la combustion ; cet air, s'échappant par la soupape, provoquait un vide dans le cylindre, et dès lors la pression atmosphérique, pesant sur la tête du piston, chassait celui-ci dans l'intérieur du corps de pompe. C'était, comme on le voit, le principe de la machine précédente ; seulement le vide était produit par un artifice d'une autre nature.

La machine à poudre que Papin fit connaître en 1688 (1) n'était pas, à proprement parler, une invention de ce physicien. La première idée en avait été émise par l'abbé de Hautefeuille, dans un mémoire imprimé à Paris en 1678 (2). A cette époque, le projet d'appliquer la pression atmosphérique à la création d'un nouveau moteur occupait tous les savants. L'abbé de Hautefeuille avait parlé le premier d'obtenir une force motrice empruntée à la pression atmosphérique, en faisant le vide dans un tuyau, par suite de la combustion de la poudre. Le principe

(1) *De novo pulveris pyrii usu* (*Acta eruditorum Lipsiæ*. septembre 1688, p. 496).

(2) *Pendule perpétuelle avec un nouveau balancier, et la manière d'élever l'eau par le moyen de la poudre à canon, et autres nouvelles inventions contenues dans une lettre adressée par M. de Hautefeuille à un de ses amis*, 1678, p. 16.

de cette machine avait été conçu par l'abbé de Hautefeuille à l'époque où Louis XIV voulait élever les eaux de la Seine pour les consacrer à l'embellissement des jardins de Versailles ; les difficultés immenses de cette entreprise extravagante tenaient alors en haleine l'esprit de tous les mécaniciens français.

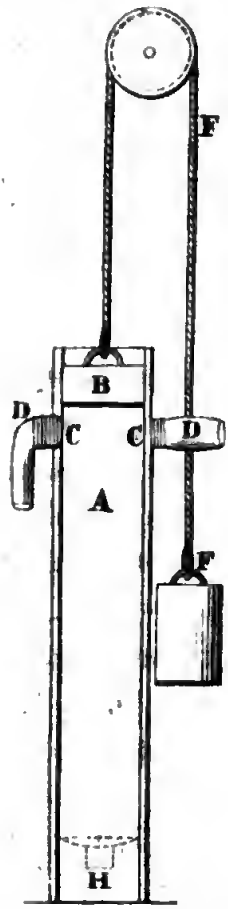
« Un si grand nombre d'inventions qui ont été proposées pour élever des eaux à Versailles m'engagea, dit Jean de Hautefeuille, à méditer sur les moyens de le faire avec facilité..... Repassant ainsi dans mon imagination toutes les forces qui pouvaient être dans la nature, il s'en présenta une qui est infiniment plus grande que celle du vent, du courant des rivières et des torrents, et la plus violente qui ait jamais été : cette force est la poudre à canon, que l'on n'a point encore employée à l'élévation des eaux (1). »

Le principe était bon en lui-même, mais la machine proposée par l'abbé pour le mettre à exécution était des plus grossières. Elle se composait simplement d'une grande caisse disposée à trente pieds au-dessus de la masse d'eau qu'il s'agissait d'élever ; cette caisse était munie de quatre soupapes s'ouvrant de dedans en dehors, et se terminait par un tube plongeant dans l'eau. Quand on enflammait, dans cette caisse, une certaine quantité de poudre à canon, on dilatait l'air contenu dans le tube, et cet air, s'échappant par les soupapes, provoquait, dans l'intérieur de cet espace, un vide partiel ; par suite de ce vide, l'eau, pressée par l'atmosphère extérieure, s'élançait dans l'intérieur de l'appareil.

L'abbé de Hautefeuille, doué d'un certain esprit d'invention et de recherches, avait des habitudes scientifiques assez fâcheuses. Il abordait tous les sujets sans en approfondir un seul ; il émettait en termes laconiques beaucoup d'idées vagues et mal formulées, et lorsque, plus tard, d'autres savants venaient à

(1) *Pendule perpétuelle*, etc., p. 9.

traiter sérieusement les questions qu'il n'avait fait qu'effleurer, il fatiguait le public du bruit de ses réclamations. C'est ainsi qu'il écrivait en 1682 : « Il y a trois ou quatre ans que je proposai une force qui me semblait devoir être de quelque utilité : c'est la poudre à canon, qui produit l'effet de la pompe aspirante par la raréfaction de l'air, et celui de la pompe foulante par son effort. J'ai appris depuis ce temps-là que l'on avait fait une expérience à l'Académie royale des sciences, qui en approchait, et que l'on avait essayé ce principe pour l'élévation des corps solides... On m'a assuré qu'un gros de poudre à canon avait enlevé en l'air sept ou huit laquais qui retenaient le bout de la corde, et qu'ayant attaché des poids à son extrémité, ce gros de poudre avait enlevé 1,000 ou 1,200 livres pesant (1). »



Ce n'était point l'Académie qui avait exécuté l'expérience dont parle Jean de Hautefeuille, mais bien Huygens, qui avait substitué à ce grossier mécanisme un appareil beaucoup plus parfait, consistant essentiellement dans l'emploi d'un corps de pompe parcouru par un piston. La machine n'était plus bornée au seul objet de l'élévation des eaux à une hauteur de trente pieds ; elle devait constituer un moteur susceptible de recevoir toutes les applications industrielles. La figure ci-jointe que Huygens a donnée de son appareil en fait facilement comprendre le mécanisme.

(1) *Réflexions sur quelques machines à élever les eaux, avec la description d'une nouvelle pompe sans frottement et sans piston, adressées par M. de Hautefeuille à madame la duchesse de Bouillon*, p. 9.

A est un cylindre métallique; B, un piston mobile dans ce cylindre ; une corde enroulée sur une poulie, et supportant le poids qu'il s'agit d'élever, est attachée à ce piston. Au bas du cylindre est une petite boîte H destinée à recevoir la poudre. DD sont deux poches de cuir garnies de soupapes jouant de dedans en dehors, et destinées à donner issue à l'air dilaté et aux produits gazeux de l'explosion de la poudre. « On met, dit Huygens, dans la boîte H un peu de poudre à canon avec un petit bout de mèche d'Allemagne allumée, et l'on serre bien cette boîte par le moyen de sa vis. La poudre, venant un moment après à s'allumer, remplit le cylindre de flamme et en chasse l'air par les tuyaux de cuir DD qui s'étendent et qui sont aussitôt refermés par l'air du dehors; de sorte que le cylindre demeure vide d'air, ou du moins pour la plus grande partie. Ensuite le piston B est forcé, par la pression de l'air qui pèse dessus, à descendre, et il tire ainsi la corde FF, et ce à quoi on l'a voulu attacher. La quantité de cette pression est connue et déterminée par la pesanteur de l'air et par la grandeur du diamètre du piston, qui, étant d'un pied, sera pressé autant que s'il portait le poids d'environ 1,800 livres, supposé que le cylindre fût tout à fait vide d'air (1). »

Papin connaissait depuis longtemps cette machine, car il avait, comme nous l'avons dit, secondé Huygens dans sa construction, pendant qu'il logeait avec lui à la Bibliothèque du roi. Mais il avait reconnu dans ses dispositions divers inconvénients, et il voulait seulement, dans la construction nouvelle qu'il proposait, en perfectionner le mécanisme. Les changements qu'il apportait à l'appareil de Huygens ont d'ailleurs trop peu d'importance pour les signaler ici.

Cependant il était facile de reconnaître que les effets méca-

(1) *Nouvelle force mouvante par le moyen de la poudre à canon et de l'air*, par Huygens de Zulichem (*Divers ouvrages de mathématiques et de physique*, par Messieurs de la Société royale des sciences, p. 320).

niques provoqués par ce moyen ne pouvaient présenter qu'une puissance médiocre, parce qu'il était impossible, par la seule détonation de la poudre, de chasser entièrement l'air contenu dans le cylindre. En outre, comme le démontra le physicien anglais Hooke, l'air, en raison de sa compressibilité, pouvait rester en partie dans le tube; par suite de cette circonstance, si le tube présentait une certaine longueur, le mouvement du piston devenait presque insensible. C'est en vain que Papin essaya, pour parer à cet inconvénient capital, de faire également le vide dans le tube; l'expérience montra qu'il restait toujours dans l'appareil assez d'air pour annuler la plus grande partie des effets de la pression extérieure.

C'est alors que Papin, réfléchissant sur les agents qu'il serait permis d'employer pour remplacer la poudre à canon comme moyen de faire le vide dans un corps de pompe, eut l'idée hardie et profondément nouvelle d'employer la vapeur d'eau à cet usage. Dans l'histoire de la machine à vapeur, on ne peut accorder à Papin autre chose que l'idée d'employer la vapeur d'eau comme moyen de faire le vide; mais cette pensée, véritable inspiration du génie, suffit à l'immortaliser; elle honorera à jamais son nom, son siècle et sa patrie (1).

Le mémoire dans lequel Papin propose pour la première fois l'emploi d'une machine ayant pour principe moteur la force élastique de la vapeur d'eau, fut publié en latin dans les *Actes de Leipsick*, au mois d'août 1690, sous ce titre : *Nova methodus*

(1) Bien qu'il soit difficile de remonter par la pensée la suite d'idées qui amènent un homme de génie à la réalisation d'une grande découverte, il ne nous semble pas impossible de déterminer comment Papin fut conduit à reconnaître ce fait fondamental, que la condensation de la vapeur d'eau donne le moyen d'opérer le vide dans un espace fermé. Si nous ne nous trompons, il puisa cette idée dans une expérience faite en 1660 par Robert Boyle. Le physicien irlandais avait reconnu qu'en plongeant dans l'eau froide un éolipyle ou un tube de verre rempli de vapeurs, l'eau s'y élevait aussitôt et remplissait l'éolipyle comme par suc-

ad vires motrices validissimas levi pretio comparandas (*Nouvelle méthode pour obtenir à bas prix des forces motrices considérables*). Papin commence par rappeler les essais infructueux qu'il a faits antérieurement pour perfectionner la machine à poudre.

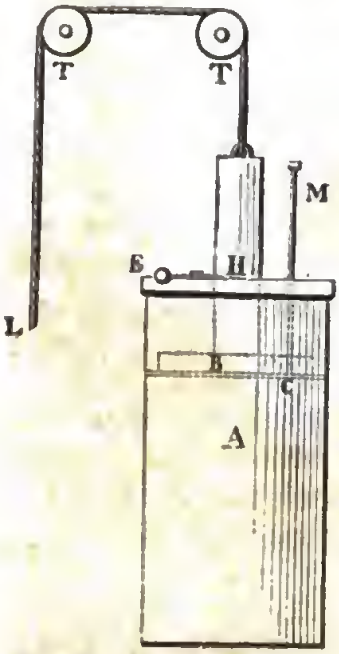
« Jusqu'à ce moment, dit-il, toutes ces tentatives ont été inutiles, et après l'extinction de la poudre enflammée, il est toujours resté dans le cylindre environ la cinquième partie de l'air. J'ai donc essayé de parvenir, par une autre route, au même résultat; et comme, par une propriété qui est naturelle à l'eau, une petite quantité de ce liquide, réduite en vapeurs par l'action de la chaleur, acquiert une force élastique semblable à celle de l'air et revient ensuite à l'état liquide par le refroidissement, sans conserver la moindre apparence de sa force élastique, j'ai cru qu'il serait facile de construire des machines où l'air, par le moyen d'une chaleur modérée, et sans frais considérables, produirait le vide parfait que l'on ne pouvait pas obtenir à l'aide de la poudre à canon. »

La figure suivante fera comprendre les éléments de la machine que Papin proposa pour utiliser les effets mécaniques de la vapeur d'eau.

A est un cylindre de cuivre fermé par le bas, ouvert par le haut et contenant un peu d'eau à sa partie inférieure. Ce cylindre est parcouru par un piston mobile B. Un orifice C traverse ce piston et a pour effet de permettre de l'abaisser jusqu'à ce que sa face inférieure touche l'eau, en donnant issue à l'air

cion. Boyle, qui conservait encore les anciennes idées sur la transformation de l'eau en air par la chaleur, et qui parle ailleurs des moyens d'engendrer l'air artificiellement, ne put se rendre un compte exact de ce phénomène. Mais trente ans après, Papin, plus familiarisé avec l'usage et les propriétés de la vapeur, en reconnut la véritable nature, et il y trouva le moyen de faire le vide à volonté dans un espace clos. (Voyez le dassage original dans l'ouvrage de Boyle : *New experiments physi-o-mechanical touching the spring of the air and its effects*, p. 31-36. Oxford, 1660.)

qui existe au-dessous de lui. Quand on a ainsi chassé l'air du cylindre, on bouche cet orifice C avec la tige M; on échauffe ensuite le bas du cylindre à l'aide d'un brasier. L'eau arrive à l'ébullition, et la vapeur acquiert assez de puissance pour soulever le piston et le pousser jusqu'au haut de sa course. Cet effet obtenu, on pousse le cliquet E, qui, s'enfonçant dans une rainure de la tige H, arrête et maintient le piston dans cette position. On éloigne alors le brasier, le cylindre se refroidit, la vapeur se condense, le vide se fait par conséquent au-dessous du piston. Si alors on retire le cliquet E, le piston, pressé par tout le poids de l'atmosphère extérieure, se précipite aussitôt au fond du cylindre et peut ainsi servir à élever des poids que l'on aurait attachés à l'extrémité de la corde TL, fixée à la tige du piston et s'enroulant sur deux poulies (1).



Papin présentait ce petit appareil comme susceptible de recevoir dans l'industrie une application immédiate. En cela il tombait dans l'erreur commune des inventeurs qui n'hésitent pas à considérer la première suggestion de leur esprit comme le dernier mot de la science et de l'art. On ne peut, en effet, voir dans la machine du physicien de Blois qu'un moyen de démontrer, par l'expérience, le principe de la force élastique de la vapeur, et du parti que l'on peut en tirer comme force motrice. Quant à l'appliquer, telle qu'elle était conçue, aux usages de l'industrie, il était impossible d'y songer. Cette disposition gros-

(1) On trouvera à la fin du volume (Note II) le texte tout entier du mémoire de Papin.

sière, qui consistait à placer une légère couche d'eau dans le cylindre lui-même et à produire la vapeur à l'aide d'un brasier placé par-dessous, de telle sorte que l'appareil n'était alimenté que par cette petite quantité d'eau qui ne se renouvelait jamais; le moyen plus vicieux encore qui faisait dépendre la chute du piston du refroidissement spontané de la vapeur, par suite de l'éloignement du brasier; ces tubes de métal mince, que l'action du feu aurait rapidement détruits et incapables de résister efficacement à la pression intérieure exercée sur leurs parois; l'absence d'un moyen propre à prévenir les explosions : tout nous montre que cet appareil ne présentait aucune des conditions que l'on voit communément réalisées dans la plus imparfaite des machines industrielles.

Cette erreur devait durement peser sur la destinée de Papin. Les défauts de sa machine étaient d'une évidence à frapper tous les yeux; aussi fut-elle accueillie avec une désapprobation marquée, et placée d'un accord unanime au rang des appareils imparfaits qu'il avait antérieurement fait connaître. Sa grande conception concernant l'emploi de la vapeur fut enveloppée dans la même défaveur qui avait accueilli sa machine à double pompe pneumatique et sa machine à poudre. Aucun recueil scientifique ne reproduisit le mémoire publié dans les *Actes de Leipsick;* le physicien Hooke se borna à faire ressortir, dans quelques notes lues à la Société royale de Londres, les inconvénients de la nouvelle machine motrice proposée par le docteur Papin, et tout fut dit.

L'indifférence que rencontra sa découverte eut pour lui une conséquence funeste. En présence du peu de succès de ses idées, il se prit à douter de lui-même; il crut avoir fait fausse route, et abandonna entièrement le projet de sa machine à vapeur. Il y avait cependant bien peu de modifications à apporter à sa construction primitive pour la rendre applicable à l'industrie. L'emploi d'une chaudière servant à amener la vapeur dans

l'intérieur du cylindre, et le refroidissement de la vapeur provoqué par une aspersion d'eau froide, auraient suffi pour en faire le moteur le plus puissant que l'industrie eût possédé jusqu'à cette époque. Par malheur, les critiques qu'il rencontra découragèrent Papin, qui cessa entièrement de s'occuper de ce sujet, et lorsque quinze ans après il essaya d'y revenir, il fut conduit à proposer un appareil tout différent du premier, et dans lequel, abandonnant la grande idée dont l'honneur lui revient, il avait recours à des dispositions presque de tout point vicieuses.

Dans un voyage qu'il fit en Angleterre, en 1705, Leibnitz avait vu fonctionner la machine à vapeur de Savery, première application pratique de la puissance motrice de la vapeur d'eau. Leibnitz envoya à Papin le dessin de cette machine, afin de connaître son opinion sur l'appareil du mécanicien anglais, et celui-ci montra la lettre et le dessin à l'électeur de Hesse. C'est à l'instigation de ce prince que Papin reprit l'examen de ce sujet qu'il avait abandonné depuis quinze ans. Le résultat de son travail fut la publication d'un petit livre imprimé à Francfort en 1707, sous le titre de *Nouvelle manière pour élever l'eau par la force du feu.* La nouvelle machine à vapeur que Papin décrit dans ce mémoire n'est autre chose, bien qu'il essaie de s'en défendre, qu'une imitation de la machine de Savery, inférieure encore sous tous les rapports à celle de son rival. Il propose d'employer la force élastique de la vapeur à élever de l'eau dans l'intérieur d'un tube; cette eau est ainsi amenée dans un réservoir, d'où on la fait tomber sur les augets d'une roue hydraulique à laquelle elle imprime un mouvement de rotation.

Ainsi Papin abandonnait son idée capitale d'employer la vapeur comme moyen d'opérer le vide dans un cylindre, pour adopter le procédé bien moins avantageux qui consiste à se servir de la pression de la vapeur pour élever une colonne d'eau.

Il ne faisait en cela que copier, avec quelques modifications, la machine de Savery. C'est que cette machine, déjà en usage en Angleterre, avait obtenu un certain succès; Papin, égaré par l'apparence des résultats utiles qu'elle avait fournis, perdait ainsi de vue la grande conception qui perpétuera le souvenir de son génie.

On avait pensé jusqu'ici que les idées de Papin sur cette seconde machine à vapeur n'étaient jamais sorties du domaine de la théorie. Une correspondance de Papin avec Leibnitz, récemment retrouvée par M. Kuhlmann, professeur à l'université de Hanovre, vient de jeter un jour tout nouveau sur cette question. Il résulte de ces lettres, qu'après avoir fait construire le modèle de la machine précédente, Papin la fit exécuter en grand pour l'appliquer à un bateau qui fut essayé sur la Fulda. Mais des dissentiments ayant éclaté sur ces entrefaites entre lui et quelques personnages puissants de Marbourg, Papin prit la résolution de quitter l'Allemagne, et de faire transporter son bateau en Angleterre pour y continuer ses expériences. C'est ce que démontre suffisamment la curieuse lettre de Papin à Leibnitz que nous mettons sous les yeux de nos lecteurs.

« Cassel, ce 7 juillet 1707.

» MONSIEUR,

» Vous savez qu'il y a longtemps que je me plains d'avoir ici beaucoup d'ennemis trop puissants. Je prenais pourtant patience; mais depuis peu j'ai éprouvé leur animosité de telle manière qu'il y aurait eu trop de témérité à moi à oser vouloir demeurer plus longtemps exposé à de tels dangers. Je suis persuadé pourtant que j'aurais obtenu justice si j'avais voulu faire un procès; mais je n'ai déjà fait perdre que trop de temps à Son Altesse pour mes petites affaires, et il vaut bien mieux céder et quitter la place que d'être trop souvent obligé d'importuner un si grand prince. Je lui ai donc présenté une requête pour le supplier très humblement de m'accorder la permission de me retirer en Angleterre, et Son Altesse y a consenti avec des circonstances qui font voir qu'elle a

encore, comme elle a toujours eu, beaucoup plus de bonté pour moi que je ne mérite.

» Une des raisons que j'ai alléguées dans ma requête, c'est qu'il est important que ma nouvelle construction de bateau soit mise à l'épreuve dans un port de mer, comme Londres, où on pourra lui donner assez de profondeur pour y appliquer la nouvelle invention qui, par le moyen du feu, rendra un ou deux hommes capables de faire plus d'effet que plusieurs centaines de rameurs. En effet, mon dessein est de faire le voyage dans ce même bateau, dont j'ai déjà eu l'honneur de vous parler autrefois, et l'on verra d'abord que sur ce modèle il sera facile d'en faire d'autres où la machine à feu s'appliquera fort commodément. Mais il se trouve une difficulté, c'est que ce ne sont point les bateaux de Cassel qui vont à Brême, et quand les marchandises de Cassel sont arrivées à Münden, il faut les décharger pour les transporter dans les bateaux qui descendent à Brême. J'en ai été assuré par un batelier de Münden, qui m'a dit qu'il faut une permission expresse pour faire passer un bateau de la Fulda dans le Weser. Cela m'a fait résoudre, Monsieur, de prendre la liberté d'avoir recours à vous pour cela. Comme ceci est une affaire particulière et sans conséquence pour le négoce, je suis persuadé que vous aurez la bonté de me procurer ce qu'il faut pour faire passer mon bateau à Münden, vu surtout que vous m'avez déjà fait connaître combien vous espériez de la machine à feu pour les voitures par eau. On m'a aussi averti qu'à Hamel, il y a un courant extrêmement rapide, et qu'il s'y perd des bateaux. Cela me ferait souhaiter de savoir à peu près à combien de degrés ce canal est incliné sur l'horizon. Ainsi, Monsieur, si vous avez eu la curiosité de faire cette observation, je vous supplie d'avoir aussi la bonté de me dire ce qu'il en est. En tout cas, il vaudra toujours mieux prendre trop que pas assez de précautions pour garantir mon bateau de tout accident. Si j'étais assez heureux pour que vos affaires vous appelassent dans l'une ou l'autre des deux villes dans le temps que j'y passerai, je m'y ferais une extrême satisfaction d'y entendre et d'y profiter de vos bons avis en voyant notre bateau, et de vous supplier de bouche de me continuer la même bienveillance dont vous m'honorez depuis si longtemps, et de me permettre toujours de me dire avec respect, Monsieur, votre très humble et très obéissant serviteur.

» D. Papin. »

Dès la réception de cette lettre, Leibnitz écrivit au conseiller intime de l'électeur de Hanovre, pour obtenir l'autorisation de faire passer le bateau de Papin des eaux de la Fulda dans celles du Weser. Mais cette autorisation fut refusée, ou du moins elle se fit attendre ; car, dans une seconde lettre, datée du 1er août 1707, Papin se plaint des retards qu'éprouve sa demande. Pour mettre le temps à profit, il continua les essais de son bateau. La lettre suivante, adressée à Leibnitz et datée du 15 septembre, montre que les résultats qu'il obtenait étaient de nature à l'encourager.

« L'expérience de mon bateau a été faite et elle a réussi de la manière que je l'espérais ; la force du courant de la rivière était si peu de chose en comparaison de la force de mes rames, qu'on avait de la peine à reconnaître qu'il allât plus vite en descendant qu'en montant. Monseigneur eut la bonté de me témoigner la satisfaction d'avoir vu un si bon effet, et je suis persuadé que si Dieu me fait la grâce d'arriver heureusement à Londres, et d'y faire des vaisseaux de cette construction qui aient assez de profondeur pour appliquer la machine à feu à donner le mouvement aux rames, je suis persuadé, dis-je, que nous pourrons produire des effets qui paraîtront incroyables à ceux qui ne les auront pas vus. »

Mais il n'était pas dans sa destinée de voir ce projet s'accomplir. La lettre que nous venons de citer contient le *postscriptum* suivant, indice précurseur du mécompte qui l'attendait.

« Je viens de recevoir une lettre de Münden, d'une personne qui a parlé au bailli pour la permission de passer mon bateau dans le Weser. Elle a eu pour réponse que c'est une chose impossible ; que les bateliers ne le veulent plus, parce qu'ils ont payé une amende de cent écus, et que la permission de Son Altesse électorale est nécessaire pour cela. Il est vrai que quelques bateliers m'ont dit le contraire, mais d'autres aussi ont dit qu'il fallait une permission de Son Altesse. Je ne puis croire que ceux qui

m'ont dit le contraire aient voulu me tromper. Enfin, je me vois en grand danger qu'après tant de peines et de dépenses qui m'ont été causées par ce bateau, il faudra que je l'abandonne, et que le public soit privé des avantages que j'aurais pu, Dieu aidant, lui procurer par ce moyen. Je m'en consolerai pourtant, voyant qu'il n'y a point de ma faute, car je ne pourrais jamais imaginer qu'un dessein comme celui-là dût échouer faute de permission. »

Il était en effet trop pénible de penser qu'un projet qui avait coûté toute une vie de travaux pût échouer devant un si misérable obstacle. C'est là cependant le triste dénoûment que sa mauvaise étoile réservait aux efforts de Papin.

Ne recevant pas la permission qu'il avait demandée à l'électeur de Hanovre pour entrer dans les eaux du Weser, Papin crut pouvoir passer outre. Le 25 septembre 1707, il s'embarqua à Cassel sur la Fulda, et arriva à Münden le même jour. Münden, ville du Hanovre, est située au confluent de la Fulda et de la Wera, qui se réunissent en ce point pour former le Weser. Papin comptait continuer sa route sur ce fleuve, et arriver ainsi à Brême, près de l'embouchure du Weser dans la mer du Nord, où il se serait embarqué sur un vaisseau qui l'aurait conduit à Londres, en remorquant son petit bateau. Mais les mariniers lui refusèrent l'entrée du Weser, et comme il insistait, sans doute, et réclamait avec force contre un procédé si rigoureux, ils mirent sa machine en pièces. Quelque étonnant qu'il nous paraisse, ce fait est prouvé par le curieux document que l'on va lire. C'est une lettre adressée à Leibnitz par le bailli de Münden. Le bailli, honteux sans doute de la fâcheuse aventure arrivée au protégé du puissant Leibnitz, essaie de s'en excuser, et de se prémunir d'avance contre les plaintes du vieillard qu'il a laissé si inhumainement traiter. Cette lettre, rapportée par M. Kuhlmann, est écrite en français; nous la citons textuellement :

« Münden, ce 27 septembre 1707.

» MONSIEUR,

» Ayant appris par le médecin Papin, qui venant de Cassel, passa avant-hier par cette ville, que vous trouverez présentement en cette cour-là, je me donne l'honneur de vous avertir, Monsieur, que ce pauvre homme de médecin qui m'a montré votre lettre de recommandation pour Londres, a eu le malheur de perdre sa petite machine d'un vaisseau à roues que vous avez vue. Les bateliers de cette ville ayant eu l'insolence de l'arrêter et de le priver du fruit de ses peines, par lesquels il pensait s'introduire auprès de la reine d'Angleterre. Comme l'on ne m'avertit de cette violence qu'après que le bonhomme fut parti, et qu'il ne s'était point adressé à nous, mais au magistrat de la ville pour s'en plaindre, quoique cette affaire fût de ma juridiction; vous voyez, Monsieur, qu'il n'était pas en mon pouvoir d'y remédier. C'est pourquoi je prends la liberté de vous informer de ce fait, en cas que si cet homme ne voulût faire des plaintes à Hanovre et à Cassel, vous soyez persuadé de la vérité et de la brutalité de ces gens-ci. Si, en repassant à Hanovre, je puis avoir l'honneur de vous voir. Monsieur, je me donnerai celui de vous assurer moi-même de la passion constante avec laquelle je suis, Monsieur, votre très humble et très obéissant serviteur. » ZEUNER.

Le même fait est confirmé par une lettre, datée du 20 octobre 1707, adressée à Leibnitz par un certain Hattenbach, et qui contient ces deux lignes : « Le pauvre Papin a été obligé de laisser son bateau à Münden, n'ayant jamais pu obtenir de l'amener (1). »

On est saisi d'un profond sentiment de compassion quand on se représente l'infortuné vieillard, privé des moyens sur lesquels il avait fondé toutes ses espérances, sans ressources et presque

(1) Nous avons réuni à la fin de ce volume (Note III) la collection des lettres originales dont il vient d'être question. C'est la traduction et la reproduction littérale des pièces publiées en Allemagne, en 1852, par M. Kuhlmann, sous ce titre : *Nouveaux documents sur l'histoire des bateaux à vapeur.*

sans asile, et ne sachant plus en quel coin de l'Europe il irait cacher ses derniers jours. Il n'osait revenir sur ses pas et rentrer à Marbourg, dans cette université qu'il avait volontairement abandonnée. D'un autre côté, il ne pouvait songer à la France ; plus que jamais l'accès de sa patrie lui était fermé, car l'intolérance religieuse, dont les excès ont déshonoré les dernières années du règne de Louis XIV, continuait à y déployer ses fureurs. Mais l'Angleterre avait été pour lui une autre patrie; c'est là que la fortune avait souri un moment aux efforts de sa jeunesse. Les encouragements et l'appui qu'il avait rencontrés auprès de l'illustre Robert Boyle, les relations qu'il avait formées avec les membres de la Société royale, vivaient au nombre des plus doux souvenirs de son cœur ; il prit la résolution de continuer sa route vers l'Angleterre, il voulut mourir sur le sol hospitalier où avaient fleuri les quelques jours heureux de son existence. Faible et malade, il s'achemina tristement vers ce dernier asile de sa vieillesse. Mais dans le long intervalle de son absence, ses amis avaient eu le temps de l'oublier. Robert Boyle était mort, et le nom de Papin était presque inconnu des nouveaux membres de la compagnie. Pour subvenir à ses besoins, il fut contraint de se remettre à la solde de la Société royale. Le grand inventeur dont notre siècle glorifie la mémoire se trouva dès ce moment, et jusqu'aux derniers jours de sa vie, réduit à un état voisin de la misère. Il fut contraint, faute de ressources suffisantes, de renoncer à poursuivre les expériences de son bateau à vapeur. « Je suis maintenant obligé, dit-il dans une de ses lettres, de mettre mes machines dans le coin de ma pauvre cheminée. » En effet, cette ardeur d'invention et de recherches, qui avait été comme l'aliment de son existence, persistait encore dans l'âme du noble vieillard ; c'était le dernier lien qui le rattachait à la vie. Il était sans cesse occupé à combiner de nouvelles machines, pour l'exécution desquelles il réclamait, trop souvent en vain, les secours de la Société royale. Le secrétaire de la

Société, M. Sloane, lui avait demandé compte d'une petite somme qu'on lui avait remise, et Papin lui écrivait pour indiquer l'emploi que cet argent avait reçu :

« Puisque vous désirez, très honoré Monsieur, un compte rendu de ce que j'ai fait pour la Société royale depuis que j'ai reçu quelque argent, afin que vous puissiez mieux juger ce qu'il est convenable de me donner maintenant, j'ai déposé sur ce papier ce que j'estime le plus important. Mais, avant tout, je dois vous prier de vous souvenir que vous devez vous mettre à ma place sans restriction, afin que je sois payé selon ce que j'ai mérité, et ayant déjà dans la tête plus de travail de cette nature que je n'en pourrai faire dans le reste de ma vie, j'ai résolu de négliger tous les autres moyens de pourvoir à ma subsistance, étant persuadé qu'il ne peut y avoir de meilleure occupation que de travailler pour la Société royale, puisque c'est la même chose que de travailler pour le bien public. Je vous en prie, Monsieur, permettez-moi d'ajouter ici que, dans l'Académie royale de Paris, il y a trois pensionnaires pour la mécanique, qui ont chacun un très bon salaire annuel, et, en outre, qu'il y a d'habiles ouvriers de toutes sortes, payés par le roi, qui sont prêts en tout temps à exécuter tout ce que ces pensionnaires commandent. Prenez, s'il vous plaît, les Mémoires de l'Académie royale des sciences, et voyez ce que ces trois pensionnaires font chaque année, et comparez-le avec ce que j'ai fait depuis sept mois; j'espère que vous trouverez que j'ai raison de dire que j'ai fait autant qu'on peut attendre du plus honnête homme, avec ma petite capacité et ma pénurie d'argent (1). »

Il est triste de voir le pauvre proscrit contraint d'invoquer des secours étrangers pour perfectionner les inventions utiles qui ne cessaient d'occuper les loisirs de ses derniers jours.

« Je propose humblement à la Sociéte royale, écrivait-il le 16 mai 1709, de faire un nouveau fourneau qui épargnera plus de la moitié des combustibles. Je ne puis encore dire précisément

(1) *Lettres inédites de Papin*, publiées par M. Bunsen, professeur de physique à Marbourg.

combien; mais il est certain que l'économie sera si considérable qu'elle fera plus que compenser la dépense nécessaire pour l'acquérir... Je désire humblement que la Société royale me donne 250 francs, et après cela il sera facile d'essayer une chose qui peut être utile à la respiration, la végétation, la cuisine, etc. »

On lit encore dans une lettre adressée à M. Sloane :

« Certainement, Monsieur, je suis dans une triste position, puisque, même en faisant bien, je soulève des ennemis contre moi ; cependant, malgré tout cela, je ne crains rien, parce que je me confie au Dieu tout-puissant. »

La pauvreté et l'abandon dans lesquels le malheureux philosophe traîna le poids de ses derniers jours devaient lui être d'autant plus douloureux qu'il était chargé de famille. C'est ce qui semble résulter d'une réponse qu'il adressa au comte de Sintzendorff, lorsque ce gentilhomme l'invitait à aller visiter, en Bohême, une de ses mines abandonnée à cause de l'envahissement des eaux.

« Je souhaiterais extrêmement, dit-il, de témoigner à Votre Excellence l'ardeur de mon zèle à lui rendre mes très humbles services, n'était que les pays que nous voyons ruinés dans notre voisinage, et l'incertitude des événements de la guerre, m'avertissent que je ne dois pas abandonner ma famille de si loin dans un temps comme celui-ci (1). »

C'est par erreur que l'on fixe ordinairement à l'année 1710 l'époque de la mort de Papin. Il vivait encore en 1714, s'il faut s'en rapporter à une dernière lettre de Leibnitz, où il est question de lui. Cette lettre est sans date, mais la mention qui s'y trouve faite du récent avénement de George Ier au trône d'Angleterre, et de la loi anglaise intitulée l'*Acte de succession*, en fixe l'époque vers l'année 1714.

(1) *Recueil de pièces diverses*, etc., p. 49.

« Il y avait dans votre cour, écrit Leibnitz, un savant mathématicien et machiniste français, nommé Papin, avec lequel j'échangeai des lettres de temps en temps. Mais il alla en Hollande, et peut-être plus loin, l'année passée. Je souhaite d'apprendre s'il est revenu ou s'il a quitté le service, et s'est transporté en Angleterre, comme il en avait le dessein... » « Y a-t-il donc longtemps que M. Papin est de retour chez vous? J'avais pensé qu'il eût tout à fait quitté, car je le trouvais un peu chancelant; et encore à présent sa lettre me paraît être de ce caractère, quoiqu'elle soit extrêmement générale. Il a un mérite qui certainement n'est pas ordinaire; vous le trouverez, Monsieur, en le pratiquant; et ce ne serait peut-être pas mal de le faire, pour voir un peu à quoi il s'occupe, car il ne m'en dit mot. »

C'est là d'ailleurs le seul document qui permette d'éclairer les derniers temps de la vie de Papin. On ne peut préciser l'époque où il acheva de mourir. Il languit sans doute quelques années encore dans l'isolement et la pauvreté, et il est douloureux de penser que le besoin a pu abréger le terme de sa triste existence. Quelques personnes ont voulu expliquer le mystère qui couvre les derniers temps de sa vie, par son secret retour aux bords de la Loire, où il voulut mourir. Ainsi il ne nous est même pas donné de connaître le coin de terre où reposent les cendres de ce grand homme infortuné.

Quand on jette un regard d'ensemble sur les travaux de Papin, on ne peut s'empêcher de reconnaître qu'ils sont marqués au coin du génie. Cependant le mérite de notre compatriote a été contesté, et dans une notice sur la machine à vapeur, le docteur Robison n'a pas craint de dire : « Papin n'était ni physicien ni mécanicien (1). » La physique du XVIIe siècle se composait d'un trop petit nombre de principes pour qu'il soit permis de refuser à aucun savant de cette époque la connaissance des faits si simples qu'elle embrassait. De plus, quand on

(1) « *He was neither philosopher nor mecanician.* » (*Philosophical Magazine*, 1822, t. II, p. 49.)

a eu la pensée de créer une force motrice par la seule action de l'eau bouillante, on n'est pas seulement mécanicien, on est mécanicien de génie. Il est juste néanmoins de reconnaître que, dans ses travaux, Papin a souvent manqué d'esprit de suite. Il procédait par sauts et comme par boutades ; il découvrait des faits épars d'une haute importance, et ne savait pas trouver le lien propre à les rattacher en faisceau ; il établissait de grands principes, et se montrait inhabile à en déduire les conséquences même les plus rapprochées. C'est dans les premiers temps de sa vie scientifique, en s'occupant de l'insignifiant objet de la cuisson des viandes, qu'il invente la soupape de sûreté, et ce n'est qu'à la fin de sa carrière qu'il songe à l'appliquer à une machine dont les dispositions sont presque de tout point défectueuses. Pendant la construction d'un autre appareil imparfait, le moteur à double pompe pneumatique, il invente le robinet à quatre ouvertures, organe dont Leupold et James Watt ont tiré un si grand parti dans les machines à vapeur. Enfin il découvre le principe fondamental de l'emploi de la vapeur pour faire le vide et soulever un piston, et bientôt, détourné par la critique, il perd de vue sa découverte, et meurt sans soupçonner l'importance extraordinaire qu'elle doit acquérir un jour. Il y a là un vice d'esprit que l'on essaierait en vain de dissimuler.

Cependant les circonstances de la vie de Papin expliquent suffisamment ce défaut. Si son existence se fût écoulée calme et honorée dans sa patrie, s'il eût vécu entouré d'aides intelligents, de constructeurs et d'ouvriers, s'il eût goûté quelque temps les loisirs et la liberté d'esprit qui sont nécessaires à l'exécution des longs travaux scientifiques, on n'aurait pas à défendre sa mémoire contre de tels reproches ; la postérité, qui ne connaît qu'un coin de son génie, aurait alors possédé Papin tout entier. Mais éloigné dès sa jeunesse du ciel de sa patrie, obligé de promener à travers l'Europe le poids de ses ennuis et de sa pauvreté, contraint de frapper de son bâton de voyage à la porte

des Académies étrangères, le malheureux philosophe pouvait-il nous léguer autre chose que les ébauches de son génie? Si imparfaites qu'elles soient, elles suffisent à faire comprendre ce que l'on pouvait attendre de lui dans des conditions plus favorables. Pendant qu'il végétait oublié en Allemagne, un simple serrurier du Devonshire, dépourvu de toutes connaissances scientifiques, exécutait la première machine à vapeur atmosphérique en se bornant à rapprocher les découvertes éparses du mécanicien français. Papin n'eût-il pu suffire à la tâche accomplie par le serrurier Newcomen? Si donc la machine à vapeur n'est pas une invention exclusivement française, il ne faut l'attribuer qu'aux tristes circonstances qui, pendant quarante ans, fermèrent à Papin l'accès de sa patrie. Il y avait dans toutes les grandes villes de la France, et surtout dans celles des bords de la Loire, une nombreuse population de huguenots industrieux qui possédaient des capitaux immenses et concentraient dans leurs mains l'exploitation des principaux arts mécaniques. Ces hommes, qui devaient transporter l'industrie française au delà du Rhin et à l'autre bord de l'Océan, étaient tous ses amis; nul doute qu'ils ne lui eussent offert les ressources nécessaires pour perfectionner sa découverte, et qu'il n'eût trouvé dans le concours de ses compatriotes le moyen de doter son pays de l'honneur entier de cette invention impérissable. Ainsi la révocation de l'édit de Nantes ne fut pas seulement une offense aux lois éternelles de la morale et de la justice, elle n'eut pas uniquement pour effet l'exil d'un million d'hommes et le transport à l'étranger d'une grande partie de l'industrie nationale, elle devait encore priver la France de la découverte qui a le plus activement contribué aux progrès de la civilisation moderne.

Digitized by Google

CHAPITRE VI.

Machine de Savery. — Newcomen et Cawley. — Machine à vapeur atmosphérique de Newcomen.

Papin vivait en Allemagne lorsqu'il publia la description de sa machine à vapeur atmosphérique; mais l'Allemagne accordait alors une trop faible place à l'industrie pour offrir un théâtre favorable au développement de ses idées. Ses projets ne pouvaient, à la même époque, trouver en France un accueil plus avantageux. Épuisée d'hommes et d'argent par trente années de guerre, la France voyait chaque jour dépérir son commerce; la révocation de l'édit de Nantes lui avait porté un coup irréparable, en la privant, suivant les termes du mémoire de d'Aguesseau, « dans toutes sortes d'arts, des plus habiles ouvriers, ainsi que des plus riches négociants, qui étaient de la religion réformée. » Mais l'Angleterre se trouvait dans des conditions toutes différentes. Depuis la restauration de la maison des Stuarts, le commerce et l'industrie y recevaient un développement chaque jour plus rapide; à l'ombre de la paix et d'une administration intelligente, cette grande nation commençait à tirer parti des richesses accumulées sous son sol. Les mines de houille, répandues en Angleterre avec une profusion extraordinaire, forment, comme on le sait, l'une des sources les plus importantes des revenus du pays; depuis plusieurs années, leur exploitation se poursuivait avec ardeur. Mais en raison des dispositions géologiques de la plupart des terrains houillers de la Grande-Bretagne, d'immenses courants d'eau viennent à chaque instant alterner avec les couches du minerai. Ces nappes d'eaux souter-

raines apportaient les obstacles les plus graves à l'extraction du combustible, et la profondeur croissante des mines ajoutait de jour en jour à ces inconvénients et à ces dangers. Les moyens, souvent insuffisants, mis en usage pour l'épuisement des eaux, occasionnaient partout des dépenses énormes, et ces difficultés commençaient à éveiller les inquiétudes de la nation tout entière. L'annonce d'un moteur nouveau, puissant et économique, ne pouvait donc être accueillie avec indifférence au milieu d'un peuple qui voyait sa prospérité ou sa ruine suspendues à cette question.

Thomas Savery, ancien ouvrier des mines, devenu capitaine de marine et très habile ingénieur, s'occupait depuis longtemps de l'étude des moyens mécaniques applicables au desséchement des houillères, lorsqu'il eut connaissance des travaux de Papin. Mais les idées de ce dernier étaient devenues en Angleterre l'objet de vives critiques; Robert Hooke, comme nous l'avons vu, avait fait ressortir tous les défauts de sa machine atmosphérique. Les attaques de Robert Hooke étaient d'ailleurs parfaitement justifiées par les grossières dispositions de l'appareil de Papin, considéré comme machine motrice : la nécessité d'approcher et de retirer le feu à chaque instant, l'action nuisible que la chaleur aurait exercée sur les parois extérieures du cylindre, la lenteur presque ridicule des mouvements du piston, qui ne pouvait fournir plus d'une oscillation par minute, étaient autant d'obstacles évidents à son application à l'industrie. Mais le critique anglais, égaré par ces objections de détail, méconnaissait la grande pensée de Papin, qui, en imaginant de faire le vide dans un cylindre par la condensation de la vapeur d'eau, dotait la mécanique de l'idée la plus grande et la plus neuve que l'histoire de cette science eût jamais enregistrée. L'argumentation et les reproches de Robert Hooke donnèrent le change à Thomas Savery. Au lieu de se borner à faire subir à la machine de Papin quelques modifications très simples qui auraient permis

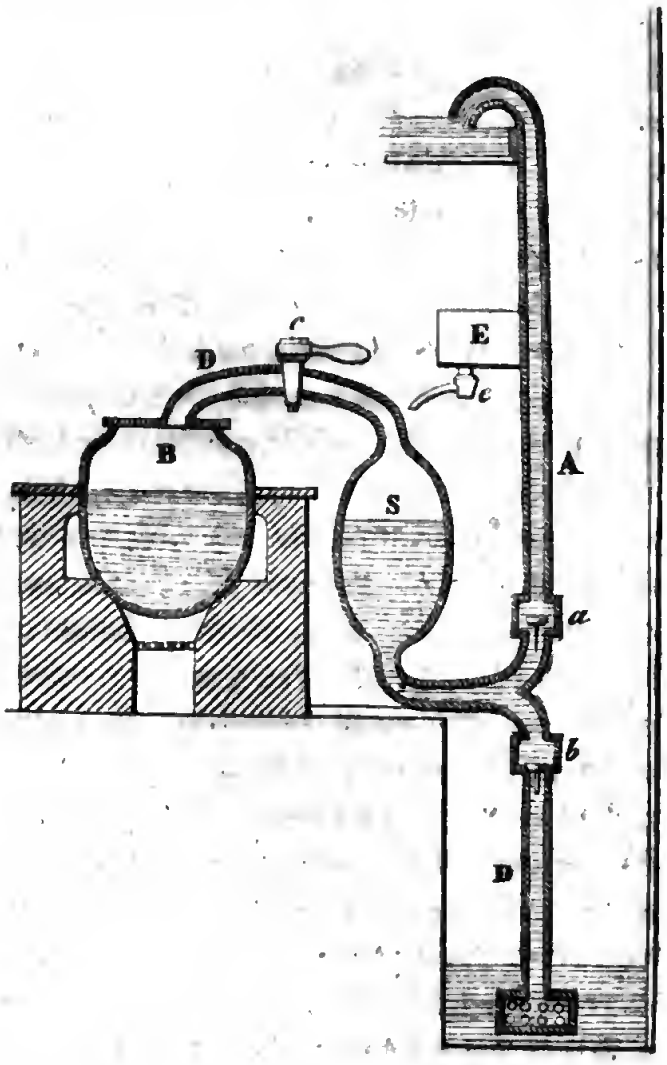
de la transporter immédiatement dans la pratique, il voulut construire une machine à vapeur fondée sur un principe tout différent. Laissant de côté le cylindre et le piston, il fabriqua un modèle de machine dans laquelle la vapeur agissait directement par sa pression pour élever l'eau dans l'intérieur d'un tube et la faire jaillir au dehors : Papin avait proposé un moteur universel, Savery proposait une machine applicable au seul objet de l'élévation des eaux.

C'est en 1698 que le capitaine Savery demanda un brevet lui assurant le privilége de la construction de sa machine à vapeur. Il la fit fonctionner la même année à Hamptoncourt, en présence du roi Guillaume, qui s'y intéressa vivement, et le 14 juin 1699, on en fit l'essai devant la Société royale. La machine de Savery reçut, à différentes époques, plusieurs perfectionnements de la part de l'inventeur; les dernières modifications qu'il apporta à son appareil, et qui lui permirent de marcher avec régularité, furent consignées dans une brochure qui parut en 1702, sous le titre de l'*Ami du mineur* (*The miner's Friend*) (1).

La figure suivante présente les éléments essentiels de la machine de Savery. Voici le jeu de ses différentes pièces. La vapeur d'eau fournie par la chaudière B arrive, en traversant le tuyau D, dans l'intérieur du vase métallique S. Elle presse l'eau contenue dans ce vase, et par sa force élastique la refoule dans le tube A, en soulevant la soupape *a* qui s'ouvre de haut en bas, et fermant la soupape *b* qui se ferme de bas en haut; l'eau jaillit ainsi par l'extrémité supérieure du tube A et s'écoule au dehors. Lorsque le vase S s'est vidé de cette manière, on ferme le robinet *c* pour intercepter la communication avec la chau-

(1) *L'Ami du mineur, ou description d'une machine pour élever l'eau par le feu, et la manière de la placer dans les mines, avec un exposé des différents usages auxquels elle est applicable et une réponse aux objections faites contre elle*, par Thomas Savery. Londres, 1702.

dière, et ouvrant aussitôt le robinet *e*, on fait arriver un courant d'eau continu du réservoir E ; la vapeur contenue dans le vase S se trouve ainsi subitement condensée. Le vide se trouvant produit à l'intérieur de ce vase par suite de la condensation de la



vapeur, la soupape *b* se soulève par l'afflux de l'eau qui s'élance, par le tube D, dans l'intérieur de l'appareil, en vertu de la pression atmosphérique. Alors le robinet *c*, étant ouvert de nouveau, donne accès à de nouvelle vapeur dans le vase S, et cette

vapeur, pressant le liquide, le refoule dans le tube A. La vapeur étant de nouveau condensée par une affusion d'eau froide, le vide produit dans le vase S appelle une nouvelle quantité d'eau dans ce récipient, et ainsi de suite. Il suffit donc d'ouvrir successivement les robinets *c* et *e* pour élever, d'une manière à peu près continue, toute l'eau que l'on désire faire monter. D'après Switzer, cette machine pouvait élever par minute 52 gallons d'eau, c'est-à-dire quatre fois le contenu du récipient S, à la hauteur de cinquante-cinq pieds.

La machine de Savery présentait un défaut capital. Le récipient devait satisfaire à deux conditions incompatibles. Les parois de ce vase auraient dû être à la fois très épaisses pour supporter à l'intérieur la pression considérable exercée par la vapeur d'eau, et très minces pour se refroidir rapidement. En outre, cette machine n'élevait l'eau qu'à la condition de l'échauffer en partie, car la vapeur, arrivant à l'intérieur du récipent S, s'y condensait en grande quantité ; de telle manière que lorsque l'eau montait dans le tube, elle avait déjà acquis une température assez élevée par suite de la chaleur abandonnée par la vapeur revenue à l'état liquide. Cet appareil reposait donc sur un principe vicieux. Il y aurait cependant une profonde injustice à contester à Thomas Savery l'honneur qui lui revient pour avoir imaginé et construit la première machine à vapeur qui ait fonctionné en Europe. Si la postérité doit une haute reconnaissance au savant qui découvre de grandes vérités théoriques, elle doit le même tribut d'hommages à celui qui, transportant cette idée dans la pratique, lui fait porter ses premiers fruits.

Lorsque Savery eut terminé la construction de sa machine, il se hâta de la présenter aux propriétaires des mines. Mais elle arrivait dans un mauvais moment. Depuis plusieurs années les propriétaires des mines de houille étaient assiégés par les faiseurs de projets qui les avaient entraînés, sans résultats, dans toute sorte de dispendieux essais. Les échecs nombreux que

l'on avait éprouvés en expérimentant des machines imparfaites ou de prétendus perfectionnements d'anciens mécanismes, devaient naturellement jeter de la défaveur sur toute conception nouvelle. La machine de Savery porta la peine de toutes les tentatives infructueuses exécutées jusque-là. Elle arrivait à la suite d'une foule de projets qui avaient trompé l'attente générale, et l'on ne prêta aucune attention aux promesses de son inventeur. Savery essaya inutilement de lutter contre ces fâcheuses préventions; les propriétaires des mines persistèrent à rejeter sa machine, qui ne servit guère que pour élever l'eau dans l'intérieur des palais ou des maisons de plaisance.

Savery n'assignait d'autres limites à la puissance de sa *pompe à feu* que l'impossibilité où l'on était de fabriquer des récipients et des tubes assez forts pour résister à la pression de la vapeur. « Je ferai monter, disait-il, de l'eau à 500 ou 1000 pieds de hauteur, si vous pouvez m'indiquer le moyen d'avoir des vaisseaux d'une matière assez solide pour résister à un poids aussi énorme que celui d'une colonne d'eau de cette hauteur; mais, du moins, ma machine élève aisément un plein tuyau d'eau à 60, 70 et 80 pieds (1). » Comme la plupart des inventeurs, Savery s'exagérait ici la puissance de son appareil; il oubliait le danger de l'explosion. La pensée ne lui était pas venue d'appliquer à sa chaudière la soupape de sûreté que Papin avait imaginée pour son digesteur. Aussi ne pouvait-on élever l'eau avec sécurité au delà de quarante pieds, et si l'on dépassait cette limite, on courait le risque de voir la chaudière éclater. Lorsque Savery établit une de ses pompes pour élever l'eau dans les bâtiments d'York, il produisait de la vapeur dont la pression atteignait huit ou dix atmosphères, et alors, selon Désaguliers, « la chaleur était si grande qu'elle fondait la soudure, et sa force telle qu'elle ouvrait la machine dans différentes jointures. »

(1) *The miner's Friend.*

Aussi les dangers que l'on redoutait, par suite du défaut de résistance des chaudières, furent-ils la considération la plus grave qui s'opposa à l'emploi de la pompe à feu de Savery pour l'épuisement de l'eau dans les mines.

Cependant l'introduction de ces premières machines à vapeur dans certains comtés de l'Angleterre eut pour résultat d'attirer l'attention sur l'emploi mécanique de la vapeur d'eau ; en même temps elle familiarisa avec son usage les populations des grands centres manufacturiers et les ouvriers des différentes professions. En ce temps-là, vivaient dans la ville de Darmouth deux honnêtes et industrieux artisans, unis dès leur enfance par une étroite amitié : c'étaient le serrurier Thomas Newcomen et le vitrier Jean Cawley. Une machine de Savery vint à être établie dans le voisinage de Darmouth ; à leurs jours de loisir, Newcomen et Cawley aimaient à aller ensemble en considérer le mécanisme, et ils devisaient au retour sur les effets de cette machine nouvelle qui les frappait de l'admiration la plus vive. Les deux amis échangeaient entre eux les différentes pensées que cette vue faisait naître dans leur esprit. Newcomen avait quelque instruction, il n'était pas sans lecture. Compatriote de Robert Hooke, il avait coutume de lui écrire pour lui soumettre divers projets relatifs à sa profession. Jean Cawley engagea donc son ami à communiquer au docteur les réflexions que leur avait suggérées l'examen de la pompe à feu de Savery. A la suite de la correspondance qui s'établit entre eux sur ce sujet, Robert Hooke fit connaître à Newcomen la machine atmosphérique que Papin avait proposée en 1690 dans les *Actes de Leipsick*. Or, il ne parut pas impossible aux deux artisans de mettre à exécution le plan du mécanicien français, et la correspondance continua sur ce nouveau point entre le docteur et l'intelligent ouvrier. Robert Hooke renouvelait auprès de Newcomen les critiques qu'il avait dirigées, devant la Société royale, contre la machine de Papin ; cependant ces objections ne produisaient

qu'une impression assez faible sur l'esprit de l'artisan ; ses connaissances incomplètes en mécanique l'empêchaient sans doute d'apprécier toute la portée des critiques du savant. On a trouvé dans les papiers de Robert Hooke le brouillon d'une lettre dans laquelle il essaie de dissuader Newcomen du projet de construire une machine d'après les idées du physicien français. Cette lettre renfermait ce passage significatif : « Si Papin pouvait faire le vide *subitement* dans son cylindre, votre affaire serait faite. » Robert Hooke faisait allusion par là à l'excessive lenteur que présentaient les mouvements du piston dans la machine de Papin, par suite de l'absence de tout expédient propre à condenser rapidement la vapeur. C'est certainement en réfléchissant sur les moyens de produire plus promptement le vide dans le cylindre de Papin, que Newcomen et Cawley eurent l'idée, parfaitement simple d'ailleurs et d'avance tout indiquée, de condenser la vapeur par des affusions d'eau froide. Quoi qu'il en soit, aidé de son ami le vitrier, Newcomen se mit à construire, au coin de sa forge, un modèle de machine qu'il destinait à des expériences. Une chaudière servait à diriger un courant de vapeur dans l'intérieur d'un cylindre de cuivre muni d'un piston ; quand le piston était parvenu au haut de sa course, on condensait subitement la vapeur en faisant couler de l'eau froide sur la partie extérieure du cylindre ; dès lors, le poids de l'atmosphère, ne rencontrant plus de résistance au-dessous du piston, le faisait aussitôt redescendre. Les deux artisans de Darmouth, transportant dans la pratique les idées de Papin, venaient d'exécuter la première machine à vapeur atmosphérique, c'est-à-dire la machine la plus puissante et la plus simple qui eût été construite jusqu'à cette époque.

Newcomen et Cawley se mirent alors en campagne pour obtenir du roi la délivrance d'un brevet qui leur assurât le privilége de leur machine. Mais le crédit d'un serrurier du Devonshire est chose assez mince, et il s'écoula un temps assez long

avant que l'on songeât à examiner la demande des deux artisans. Sur ces entrefaites, Savery fut instruit de leurs démarches. Le procédé de condensation de la vapeur par des aspersions d'eau froide était mis en usage dans sa machine, et la propriété de ce moyen, spécifié dans son brevet, lui était acquise aux termes de la loi anglaise. Savery s'opposa donc à l'autorisation sollicitée par Newcomen. Un procès semblait inévitable pour vider la question soulevée entre les deux parties. Mais Newcomen et Cawley étaient quakers; en vertu des principes de leur secte, ils répugnaient à toute contestation, et surtout à un débat judiciaire. Ils proposèrent donc à Savery de le comprendre dans leur association, et au lieu de courir les chances d'un procès, de partager avec eux les bénéfices de l'exploitation future. L'offre fut acceptée, et comme le capitaine Savery était à la cour sur le meilleur pied, il obtint aisément du roi George la délivrance du brevet. C'est pour cela qu'en 1705 une *patente royale* fut délivrée aux trois associés, Newcomen, Cawley et Savery, pour la construction et l'exploitation d'une machine à vapeur atmosphérique.

En proposant à Savery de le comprendre dans leur association, Newcomen et Cawley avaient peut-être aussi quelque arrière-pensée d'intérêt. Ils étaient tous les deux dépourvus de connaissances théoriques, et comme leur machine n'avait jamais été construite que sur de petits modèles, le concours d'un ingénieur aussi habile et aussi instruit que Savery ne pouvait leur être indifférent. Il paraît cependant qu'ils furent trompés dans ce calcul, car peu de temps après nous voyons les deux artisans livrés à leurs propres ressources.

Vers la fin de l'année 1711, Newcomen et Cawley firent des propositions aux propriétaires de l'une des mines de houille de Griff, dans le comté de Warwick, pour en épuiser les eaux à l'aide de leur machine; cinquante chevaux étaient employés dans cette mine aux travaux de desséchement, ce qui occa-

sionnait pour ce seul objet une dépense annuelle de plus de 22,000 francs. Cette proposition ne fut point agréée; mais les associés furent plus heureux six mois après, car ils réussirent à passer un marché avec un M. Back de Wolverhampton pour un travail analogue. Il ne s'agissait donc plus que de construire la machine. Mais Newcomen et Cawley n'étaient ni assez physiciens pour se laisser guider par la théorie, ni assez mathématiciens pour calculer l'action des diverses pièces et les proportions à donner à chacune d'elles. Ils étaient donc embarrassés pour l'exécution de leur marché. Heureusement ils se trouvaient près de Birmingham, à la portée d'un grand nombre d'ouvriers ingénieux et adroits. Grâce à leur concours, ils parvinrent à fabriquer convenablement les cliquets, les pistons et les soupapes dont la construction ne leur était jusque-là que très imparfaitement connue. La machine, définitivement construite, fut installée à l'entrée de la mine, et commença à fonctionner.

Elle marchait depuis quelques jours à peine, lorsque le hasard donna aux deux associés l'occasion d'y apporter une amélioration capitale, qui en augmenta la puissance dans une proportion inattendue. Un jour, la machine marchant comme à l'ordinaire, on la vit soudain accélérer ses mouvements, et les coups de piston se succéder avec une vitesse inusitée. Après bien des recherches, on découvrit la cause de cet heureux phénomène. Dans les premiers temps de la fabrication des machines à vapeur, on n'avait pas encore les moyens de construire des pistons et des cylindres assez bien ajustés pour qu'il n'existât aucun intervalle entre les parois intérieures du cylindre et celles du piston. Pour empêcher la vapeur de s'échapper par les interstices entre le piston et le cylindre, Newcomen avait recouvert la tête du piston d'une légère couche d'eau qui pénétrait dans tous les vides, et les remplissait de manière à prévenir les fuites de vapeur. Or, en examinant le piston, un

ouvrier reconnut qu'il se trouvait accidentellement percé d'un trou : c'était en tombant goutte à goutte, par ce trou, dans l'intérieur du cylindre, que l'eau froide, condensant plus rapidement la vapeur, accélérait, comme on l'avait observé, les mouvements du piston. Cette remarque porta ses fruits. On avait opéré jusque-là la condensation de la vapeur en dirigeant un courant d'eau froide dans une enveloppe métallique qui entourait extérieurement le cylindre ; cette enveloppe fut supprimée, et l'on condensa la vapeur en injectant une pluie d'eau froide dans l'intérieur même du cylindre, à l'aide d'un tube se terminant en pomme d'arrosoir. Grâce à ce perfectionnement, la machine put donner huit à dix coups de piston par minute.

Amenée à cet état, la machine de Savery, Newcomen et Cawley, qui fut désignée généralement sous le nom de *machine de Newcomen*, se répandit rapidement en Angleterre, et fut adoptée dans presque toutes les exploitations de mines ; elle y remplaça l'ancienne pompe de Savery, et de nos jours encore, dans certaines parties de l'Angleterre où le combustible n'a que peu de valeur, on la voit fonctionner avec quelque succès. Ainsi l'admirable conception de Papin était entrée d'une manière définitive dans le domaine de l'industrie.

La figure suivante fera comprendre les divers éléments qui composent la machine de Newcomen.

Une chaudière A, munie d'une soupape de sûreté O, dirige sa vapeur dans l'intérieur du cylindre C qui la surmonte. Le piston H qui parcourt ce cylindre est fixé, par une chaîne de fer, à l'une des extrémités d'un lourd balancier L, qui peut tourner sur son point d'appui ; l'autre extrémité de ce balancier est munie d'une seconde chaîne supportant un contre-poids M et une longue tige N qui lui fait suite, et qui descend dans le puits de la mine pour y faire mouvoir les pompes destinées à l'épuisement des eaux. Quand la vapeur arrive dans l'intérieur du cylindre, elle soulève le piston de bas en haut, en surmontant

l'effort de la pression atmosphérique; dès lors le contre-poids M s'abaisse en vertu de la pesanteur, il fait basculer le balancier, qui achève de soulever le piston jusqu'au haut de sa course. Si l'on ferme alors le robinet *a* pour arrêter l'afflux de la vapeur venant de la chaudière, et qu'en même temps on ouvre le robinet *b* de manière à faire couler dans l'intérieur

du cylindre un courant d'eau froide qui descend, par un tuyau *d*, du réservoir G, on détermine la condensation subite de la vapeur qui remplissait le cylindre. La condensation de la vapeur opère le vide dans cet espace, et dès lors le poids de l'atmosphère au-dessus du piston, n'étant plus contre-balancé au-dessous de lui par la tension de la vapeur, précipite jusqu'au bas

de sa course le piston qui entraîne le balancier dans sa chute. Il suffit donc d'ouvrir alternativement les deux robinets *a* et *b* pour obtenir, d'une manière continue, les mouvements ascendant et descendant de la tige N. L'eau qui a servi à la condensation s'écoule hors du cylindre à l'aide d'une ouverture F et d'un tuyau *c*, muni d'un robinet que l'on ouvre de temps en temps. Comme l'effet de la machine dépend uniquement de la pression exercée par l'air atmosphérique sur la tête du piston, on comprend que l'on peut obtenir une puissance motrice aussi grande qu'on le désire, en donnant à la surface du piston les dimensions convenables.

Tel est le mécanisme de la pompe à feu de Newcomen, dont le principe moteur est, à proprement parler, le poids de l'atmosphère, et qu'il faudrait, d'après cela, désigner sous le nom de *machine atmosphérique*, ou, si l'on veut, de *machine à vapeur atmosphérique*. Elle présente la plus remarquable application des travaux exécutés par les physiciens du XVIIe siècle sur la pesanteur de l'air et sur l'emploi de cette force motrice; il était donc nécessaire de rappeler l'histoire de ces travaux pour faire comprendre les dispositions primitives de la machine à vapeur.

CHAPITRE VII.

Perfectionnements apportés à la machine de Newcomen. — Progrès de la physique touchant la théorie de la chaleur. — Découverte du thermomètre. — Travaux de Black sur la chaleur latente et la vaporisation.

La pensée qui nous guide dans cette notice, c'est de montrer que la création des différents organes de la machine à vapeur fut toujours la conséquence et l'application des découvertes

théoriques successivement réalisées dans la science. On a vu qu'avant l'institution de la physique moderne, rien de ce qui ressemble à la machine à vapeur n'avait été et n'avait pu être conçu. Mais dès que la physique, issue des travaux de Galilée, commence à essayer ses premiers pas, dès le moment où les découvertes de Pascal et d'Otto de Guericke ont marqué ses brillants débuts, on voit ces faits passer immédiatement dans la pratique, et le génie de Papin s'en emparer presque aussitôt pour en tirer des applications mécaniques par la création d'un nouveau moteur. Cette liaison étroite qui se fait remarquer entre la situation de la science et les progrès de la machine à vapeur, deviendra plus sensible et plus évidente encore à mesure que nous avancerons dans l'histoire de ses perfectionnements. Nous allons voir une période de plus de soixante années s'écouler sans apporter aucune amélioration aux principes mécaniques concernant l'emploi de la vapeur d'eau. L'explication de ce fait, qui a beaucoup étonné jusqu'ici, paraîtra fort simple, si l'on considère que, dans ce long intervalle, la théorie de la chaleur resta complétement stationnaire. Les physiciens, tout entiers à l'étude nouvelle et si remplie d'attraits des phénomènes électriques, n'avaient pas encore abordé l'examen des faits qui se rapportent à la chaleur; ce n'est que vers l'année 1760 que les théories de la vaporisation, de la condensation et du changement d'état des corps, furent établies par Joseph Black. Aussi, durant cette longue suite d'années qui s'étend depuis la construction de la première machine atmosphérique par Newcomen, jusqu'aux travaux de Black en 1760, l'histoire de la machine à vapeur n'offre-t-elle à signaler que des perfectionnements apportés à la partie exclusivement mécanique des appareils. Tout ce qui concerne le principe d'action de la machine reste entièrement en dehors de ces modifications secondaires qu'il nous suffira dès lors de mentionner en quelques mots.

Le premier perfectionnement apporté au mécanisme de la

pompe à feu est dû à une circonstance qu'il est assez curieux de connaître. Dans la machine telle que Newcomen l'avait construite, les deux robinets destinés à donner accès à la vapeur, et à introduire l'eau de condensation dans l'intérieur du cylindre, s'ouvraient et se fermaient à la main. Un ouvrier, et souvent un enfant, étaient chargés d'exécuter cette opération, et quelles que fussent leur habitude ou leur adresse, on ne pouvait obtenir ainsi plus de dix à douze coups de piston par minute; en outre, la moindre distraction de la part de l'apprenti, non-seulement retardait le jeu de la machine, mais pouvait compromettre son existence. En 1713, un enfant chargé de ce soin, contrarié, dit-on, de ne pouvoir aller jouer avec ses camarades, imagina un moyen de se soustraire à cette sujétion forcée. Il avait remarqué que l'un des robinets devait être ouvert au moment où le balancier a terminé sa course descendante, pour se fermer au commencement de l'oscillation opposée : la manœuvre du second robinet était précisément l'inverse. Les positions du balancier et du robinet se trouvant ainsi dans une dépendance nécessaire, l'enfant reconnaît que le balancier lui-même pourrait servir à ouvrir et à fermer les robinets. Son plan est aussitôt conçu et mis à exécution. Il attache à chacun des robinets deux ficelles de longueur inégale; et après de longs tâtonnements, il fixe leur extrémité libre à des points convenablement choisis sur le balancier; de telle sorte qu'en s'élevant ou s'abaissant par l'action de la vapeur, le balancier ouvrait ou fermait lui-même les robinets au moment nécessaire. La machine put ainsi marcher sans surveillant, et l'apprenti s'en alla triomphalement rejoindre ses camarades. La tradition nous a conservé le nom de cet utile paresseux : il s'appelait Humphry Potter.

Le mécanicien Beighton substitua aux ficelles du jeune Potter des tringles de fer verticales. C'est en 1718 que Beighton établit à Newcastle une machine de Newcomen dans laquelle,

pour la première fois, l'ouvrier chargé de faire manœuvrer les robinets fut remplacé par une tige métallique suspendue au balancier et faisant mouvoir un mécanisme très simple qui exécutait cette opération. La machine put alors donner quinze coups par minute; mais l'idée première de charger le balancier d'exécuter ces mouvements revient à l'apprenti dont le nom est acquis à la postérité.

En 1758, le mécanicien Fitz-Gérald fit connaître, dans les *Transactions philosophiques*, le moyen de transformer le mouvement vertical de la machine atmosphérique en un mouvement rotatoire, par un système particulier de roues dentées et par l'addition d'un volant destiné à régulariser le mouvement. Mais la machine de Newcomen était uniquement consacrée à faire manœuvrer des pompes dans l'intérieur des mines; cette transformation du mouvement était donc superflue pour le seul objet auquel ce moteur était alors consacré.

L'emploi d'un flotteur imaginé par Brindley, vers 1760, pour régulariser l'entrée de l'eau d'alimentation dans les chaudières, est un utile perfectionnement qu'il est bon de signaler ici. Nous aurons terminé la revue des principales modifications apportées aux différentes pièces de la pompe à feu, si nous ajoutons que, dans plusieurs machines qu'il fut chargé de construire, l'ingénieur Smeaton parvint à perfectionner beaucoup la fabrication des pistons et des cylindres, et qu'il réussit de cette manière à éviter les pertes considérables de vapeur qu'occasionnaient les machines antérieures. D'importantes modifications apportées à la construction des chaudières et à la disposition du foyer permirent enfin d'économiser une certaine partie du combustible. Nous ne dirons rien des perfectionnements introduits par Smeaton dans la pompe de Savery, car cette dernière avait déjà presque partout cessé d'être en usage.

On le voit cependant, de toutes ces utiles modifications apportées à la machine atmosphérique, aucune ne touchait au

principe même de son action, c'est-à-dire à la manière de mettre en jeu la force élastique de la vapeur. La machine de Newcomen, avec son énorme balancier et l'excessive consommation de combustible qu'elle exigeait, continuait de fonctionner en conservant l'ensemble des dispositions imaginées soixante ans auparavant par le serrurier de Darmouth. C'est que la théorie générale de la chaleur, et les théories particulières de la vaporisation et de la condensation qui en sont la conséquence, étaient encore à créer tout entières. Les premiers linéaments de la théorie du calorique ne furent tracés que vers l'année 1694 par la main de Guillaume Amontons. Ce physicien ingénieux et modeste, qui eut, comme on le verra dans le cours de cet ouvrage, le mérite de découvrir le principe de la télégraphie aérienne, est en effet l'auteur des premières vues raisonnables que l'on ait conçues sur la nature et les effets de la chaleur; c'est à lui que revient l'honneur d'avoir substitué une opinion sérieuse, fondée sur l'observation et l'expérience, aux divagations de l'ancienne physique concernant ces phénomènes. Amontons émit le premier cette idée vraie et profonde, que les divers états de la matière, solide, liquide et gazeux, sont dus à l'existence, dans les corps, d'un fluide impondérable, qu'il désigna sous le nom de *calorique*. Par diverses expériences, exécutées avec la précision que pouvaient comporter les moyens d'observation de son époque, il constata les effets de dilatation que provoque, dans les corps, l'accumulation du calorique; il reconnut que l'air échauffé augmente de force élastique, et découvrit ce fait important, que l'eau se maintient à une température invariable quand elle a atteint le terme de son ébullition; en un mot, il procéda le premier, par la voie de l'expérience, à l'examen des phénomènes calorifiques.

Cependant un obstacle capital empêchait la théorie de la chaleur de s'établir sur des bases solides. Pour qu'une branche quelconque des sciences physiques puisse se constituer, se

perfectionner ou s'étendre, il ne suffit pas qu'elle possède un certain nombre de faits, il faut encore que ces faits puissent être rapprochés et comparés entre eux ; il faut que les actions, une fois produites, puissent être soumises à la mesure. Or, les phénomènes relatifs au calorique n'étaient alors susceptibles d'aucune comparaison, car les physiciens ne possédaient encore aucun instrument de mesure. A la vérité, il existait depuis un siècle un petit appareil désigné sous le nom de *thermomètre;* mais c'est à tort qu'il portait ce nom, car il ne pouvait servir en aucune manière à mesurer et à comparer les différentes températures des corps; il permettait seulement d'apprécier une différence de température entre deux corps inégalement échauffés.

Les instruments qui nous servent à rechercher les lois de la nature étaient entachés, à leur origine, d'imperfections que l'on a vues successivement disparaître devant les résultats de l'expérience. A l'exception du baromètre, qui conserve encore les dispositions et la forme que lui assigna Torricelli, tous les instruments d'observation ou de mesure physique, tels que le télescope, le microscope, la machine pneumatique, la machine électrique, la pile de Volta, etc., ont dû subir un très grand nombre de transformations avant de recevoir la forme qu'ils présentent de nos jours. Le thermomètre offre particulièrement un exemple de ce fait; il a fallu deux siècles de travaux pour porter cet instrument au degré de perfection qui le distingue aujourd'hui.

On a revendiqué en faveur d'un grand nombre de savants la découverte du thermomètre : François Bacon, Fludd, Drebbel, Sanctorius, Galilée et Van Helmont même, ont été successivement honorés du titre d'inventeurs de cet instrument. Les idées insuffisantes et vagues qui présidèrent à sa construction, au XVIIe siècle, ne méritaient guère cependant d'être disputées entre des savants d'un tel ordre. Rien ne ressemble

moins à un appareil de mesure que le thermomètre dont les anciens physiciens ont fait usage. Le premier de ces instruments, qui paraît avoir été construit par le Hollandais Cornélius Drebbel, se composait d'un simple tube de verre rempli d'air, fermé à son extrémité supérieure, et plongeant, par son extrémité ouverte, dans un petit flacon qui contenait de l'eau-forte étendue d'eau. Selon la température extérieure, et par l'effet de la dilatation de l'air enfermé dans le tube, le liquide montait ou s'abaissait dans ce tube. L'instrument était muni d'une échelle divisée en parties égales; mais sa graduation, qui n'était fondée sur aucun principe déterminé, ne fournissait aucune indication comparable.

Un membre de l'Académie *del Cimento*, de Florence, perfectionna, vers le milieu du XVIIe siècle, cet instrument grossier, sans réussir cependant à rendre ses degrés comparables. Le thermomètre de l'Académie *del Cimento* consistait simplement en un tube de verre purgé d'air et rempli d'alcool coloré; on le portait dans une cave et l'on marquait d'un trait le point où s'arrête le liquide; les portions du tube situées au-dessus et au-dessous de ce trait étaient ensuite divisées en cent parties égales. Avec une division aussi arbitraire, ces instruments ne pouvaient s'accorder entre eux; deux thermomètres construits suivant cette même méthode parlaient, chacun, une langue différente. Cependant la physique se contenta durant un demi-siècle de cet instrument grossier (1).

C'est un physicien de Pise, Renaldini, professeur à Padoue, qui reconnut le premier la nécessité de bannir du thermo-

(1) Dans ses expériences sur le *digesteur*, Papin ne se servit jamais du thermomètre. Pour évaluer la température de la vapeur qui remplissait l'appareil, il se contentait de laisser tomber une goutte d'eau sur le couvercle du *digesteur*; le nombre de secondes que cette goutte d'eau employait à s'évaporer lui servait d'indice comparatif et de moyen de mesure pour déterminer approximativement la température de la vapeur. (Voyez *La manière d'amollir les os*, p. 12.)

mètre toutes les mesures vagues et arbitraires adoptées jusque-là, et qui proposa de choisir, pour établir la graduation de l'instrument, des *points fixes* que l'on pût retrouver en toute occasion. Peu de temps après, Newton mit à exécution l'idée que le professeur de Padoue n'avait réalisée que d'une manière incomplète. L'illustre physicien donna, en 1701, dans les *Transactions philosophiques*, la description du premier thermomètre à indications comparables. Le liquide employé par Newton pour la mesure de la chaleur, était l'huile de lin; les points fixes adoptés pour sa graduation étaient : la température du corps humain pour le terme supérieur, et pour le terme inférieur, le point où s'arrêtait l'huile au moment de sa congélation, que l'on provoquait en plongeant l'instrument dans de la neige. L'intervalle entre ces deux points fixes était divisé en douze parties, et la division prolongée au delà de ces deux limites. Le point d'ébullition de l'eau correspondait ainsi au degré 34, celui de la fusion de l'étain à 72, etc. Newton détermina, à l'aide de cet instrument, plusieurs termes de température dont la connaissance importait à la physique.

Cependant la faible dilatation de l'huile par l'action de la chaleur, et sa congélation à une température modérée, rendaient incertain et délicat l'emploi du thermomètre de Newton. C'est ce qui détermina Amontons à chercher un agent thermométrique plus sensible aux influences du calorique, et dans cette vue, le physicien français construisit un thermomètre à air. Le point fixe de cet instrument fut déterminé par la température de l'eau bouillante, qu'Amontons avait reconnue le premier comme un terme constant. Mais cet instrument présentait, dans la pratique, toutes les difficultés qui se rattachent à l'emploi du thermomètre à gaz, et qui dépendent surtout de la dilatation trop considérable que les fluides élastiques éprouvent par l'action de la chaleur. Il exigeait naturellement la correction de la hauteur barométrique, et de plus, comme il

avait au moins quatre pieds de long, il était assez difficile à manier à cause de son poids et de sa fragilité.

Le problème de la construction d'un thermomètre comparable, exact, sensible et commode, présentait, on le voit, des difficultés de plus d'un genre ; ce ne fut qu'en 1714 qu'il fut à peu près résolu par un fabricant d'instruments de Dantzig, nommé Gabriel Fahrenheit. Dans ses premiers thermomètres, l'artiste allemand avait adopté l'alcool comme liquide thermométrique, mais il eut plus tard l'heureuse idée de choisir le mercure. Ce métal, employé comme agent de mesure pour la chaleur, réunit en effet toutes les conditions désirables : il n'entre en ébullition qu'à une température très élevée, et peut servir, par conséquent, à mesurer la chaleur dans des termes fort étendus ; il ne se congèle qu'à une température qui ne se réalise jamais dans nos régions ; enfin, et c'est là le point capital pour son application comme agent thermométrique, il se dilate uniformément, c'est-à-dire que son augmentation de volume est exactement proportionnelle, au moins dans une échelle très étendue, à la quantité de calorique qu'il reçoit. Les points fixes choisis par Fahrenheit étaient l'ébullition de l'eau pour le terme supérieur, et pour le terme inférieur, le point auquel l'instrument s'arrêtait quand il le plongeait dans un mélange de sel ammoniac et de neige, dont il n'a jamais fait connaître, d'ailleurs, les proportions relatives. L'intervalle qui séparait ces deux points était divisé en 212 parties, de telle sorte que le point de la congélation de l'eau correspondait à 32 degrés, celui de la température du corps humain à 96 degrés, et celui de l'ébullition de l'eau à 212 degrés. La plupart de ses thermomètres n'étaient pas gradués au delà de 96 degrés (1).

(1) Cette division en 212 parties, en apparence assez arbitraire, avait été adoptée par Fahrenheit, parce qu'il avait trouvé par expérience que

Le thermomètre de Fahrenheit fut immédiatement adopté en Angleterre et en Allemagne, où il est encore en usage aujourd'hui. En France, on se servit de préférence du thermomètre construit, vers 1730, par Réaumur, qui choisit pour les deux points fixes, le terme de la glace fondante et celui de l'ébullition de l'eau, et divisa l'entre-deux en quatre-vingts parties égales. Enfin Celsius, professeur à Upsal, construisit, en 1741, le thermomètre que l'on connaît aujourd'hui sous le nom de *thermomètre centigrade* ou de *Celsius ;* il divisa en cent parties égales l'intervalle entre les deux points fixes de la glace fondante et de l'ébullition de l'eau (1).

La physique possédait enfin un instrument qui permettait de mesurer les phénomènes calorifiques. On pouvait donc aborder l'étude des lois de la chaleur avec des moyens rigoureux d'observation, et, grâce à leur emploi, la théorie du calorique ne tarda pas à se constituer.

11,124 parties de mercure, en volume, chauffées depuis le terme 0 jusqu'à l'eau bouillante, se dilataient au point d'en constituer alors 11,336, c'est-à-dire de présenter une dilatation de 212 parties en volume.

(1) C'est le physicien Celsius qui détermina les physiciens à abandonner, pour la graduation du thermomètre, la considération du volume de la liqueur enfermée dans l'instrument, et à s'en tenir aux points fixes sans avoir égard à la dilatation du liquide qu'il contient. Fahrenheit et Réaumur avaient, au contraire, établi la division de leur instrument en comparant la grandeur de chaque degré à la masse totale du liquide renfermé dans le réservoir. Ainsi, chaque degré de l'échelle du thermomètre à alcool de Réaumur indiquait que la liqueur s'était dilatée de un millième de son volume à zéro, et chaque degré du thermomètre de Fahrenheit représentait une dilatation de 1/212. Un Genevois nommé Ducrest avait émis cette idée une année avant Celsius ; mais le point fixe qu'il avait choisi était fautif, puisqu'il l'avait déterminé en plaçant simplement l'instrument dans les caves de l'Observatoire de Paris. En choisissant pour le terme 0 le point de la glace fondante, Celsius donnait à son thermomètre un point fixe qui réunissait tous les avantages possibles par la certitude de ce terme, par sa constance et par la facilité de le reproduire en toute occasion. C'est donc au physicien suédois qu'il convient de faire honneur de la perfection que le thermomètre présente de nos jours.

C'est au physicien écossais Joseph Black, professeur à l'université de Glascow, que revient l'honneur d'avoir fondé la théorie générale de la chaleur. Après avoir confirmé par l'expérience la vérité de l'opinion d'Amontons touchant la cause de l'état physique des corps, Joseph Black créa, par une suite d'observations et de mesures précises, la théorie du *calorique latent* et celle du *calorique spécifique*. La première de ces théories était appelée à jeter la plus vive lumière sur les phénomènes qui accompagnent la vaporisation des liquides et la condensation des vapeurs. Elle se résume presque tout entière dans l'expérience suivante exécutée par Black en 1762.

Si l'on prend 1 kilogramme d'eau à la température de 79 degrés et 1 kilogramme d'eau à la température de 0 degré, et qu'on les mêle, le thermomètre, plongé dans ce mélange, indique 39°,5, c'est-à-dire la moyenne entre les températures des deux liquides mélangés à poids égaux. Mais le résultat sera tout autre si, au lieu d'employer de l'eau liquide à 0 degré, on emploie de la glace, c'est-à-dire de l'eau présentant toujours la température de 0 degré, mais offrant la forme solide. Si l'on mêle, en effet, 1 kilogramme de glace à 0 degré et 1 kilogramme d'eau chauffée à 79 degrés, on observe que la glace se fond et que le mélange tout entier devient liquide. Mais si l'on prend la température du mélange, on reconnaît qu'au lieu de représenter, comme dans l'expérience précédente, la moyenne entre les deux températures, elle est seulement de 0 degré. Les 79 degrés de chaleur que renfermait le kilogramme d'eau ont ainsi disparu sans laisser de traces ; seulement la glace s'est fondue, et le mélange a pris la forme liquide. Que conclure de ce fait remarquable ? C'est que le kilogramme de glace a dû absorber, pour se fondre, les 79 degrés de chaleur qui ont disparu, et que cette quantité de calorique a été employée à déterminer sa fusion, puisque la température n'a pas varié. Ainsi 1 kilogramme d'eau solide

a besoin, pour se liquéfier, d'absorber 79 degrés de chaleur; en d'autres termes, 1 kilogramme d'eau liquide diffère d'un même poids d'eau solidifiée, en ce qu'elle contient 79 degrés de chaleur de plus que cette dernière. Mais cette chaleur n'est pas appréciable à nos organes, elle n'est pas accusée par le thermomètre; elle est latente, et c'est pour cela que Black, et avec lui tous les physiciens modernes, donnent le nom de *chaleur latente* à cette quantité de calorique qui n'affecte pas le thermomètre, et qui est nécessaire pour provoquer le changement d'état des corps (1).

Les phénomènes qui s'observent pendant le passage d'un corps de l'état solide à l'état liquide, se reproduisent quand un liquide passe à l'état de vapeur. Pour se vaporiser, tous les liquides ont besoin d'absorber une quantité déterminée de calorique. Aussi la vapeur d'eau à 100 degrés diffère-t-elle de l'eau liquide à la même température, en ce qu'elle renferme une quantité considérable de calorique dissimulé ou latent qui la maintient a l'état de fluide élastique. En effet, lorsque la vapeur d'eau se condense, elle rend subitement libre tout le calorique latent qu'elle contenait, et cette quantité est très considérable, puisque l'on a reconnu que 1 kilogramme de vapeur d'eau à la température de 100 degrés met en liberté, en revenant à l'état liquide, une quantité de calorique suffisante pour porter à l'ébullition 5,35 kilogrammes d'eau à zéro.

Telles sont les simples et grandes vérités mises en évidence par les expériences de Joseph Black, et entièrement ignorées avant lui. On comprend sans peine de quelle utilité était la connaissance de ces faits pour le perfectionnement des ma-

(1) Quand l'eau se congèle elle met en liberté sa chaleur latente. On peut, en effet, constater, par l'expérience, qu'en se solidifiant, 1 kilogramme d'eau à 0 degré abandonne 79 degrés de chaleur.

chines mises en jeu par la force élastique de la vapeur. C'est avec leur secours qu'il fut permis, dès ce moment, de calculer la quantité de chaleur mise en liberté par la condensation d'un volume donné de vapeur dans le cylindre de la machine de Newcomen, d'expliquer les phénomènes qui accompagnent cette condensation, d'apprécier la force élastique de la vapeur à différentes températures; en un mot, d'étudier, par la voie de l'expérience, un grand nombre d'éléments pratiques qui jouent un rôle dans les effets de cette machine. Les découvertes de Black concernant le *calorique spécifique*, c'est-à-dire la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un même nombre de degrés un poids donné des différents corps, apportèrent à l'étude théorique de la machine à vapeur des éléments de la même importance.

Joseph Black, l'un des savants les plus remarquables du siècle dernier, n'a presque rien imprimé. Si l'on en excepte deux mémoires insérés dans les *Transactions philosophiques*, le seul témoignage écrit que l'illustre physicien nous ait laissé de ses travaux se réduit à son traité intitulé : *Expériences sur la magnésie, la chaux vive et les substances alcalines*. Professeur depuis l'année 1754 à l'université de Glascow, et l'un des professeurs les plus habiles de cette université, Joseph Black se contentait d'exposer dans ses cours le résultat de ses recherches. C'est ainsi que sa théorie du calorique latent fut développée chaque année, à partir de 1763, devant les nombreux élèves qui se pressaient à ses cours.

Parmi les personnes qui suivaient à cette époque les leçons de Joseph Black, se trouvait un jeune ouvrier mécanicien que la protection de l'université venait de tirer d'une position embarrassante. Appartenant à une famille honorable d'Écosse, ruinée par de mauvaises spéculations commerciales, il avait été forcé de renoncer à la carrière des sciences pour laquelle il avait manifesté, dès son enfance, des dispositions extraordi-

naires. A l'âge de seize ans, ses parents l'avaient mis en apprentissage à Greenock, sa ville natale, dans un petit atelier où l'on exécutait des compas, des balances, des cadrans solaires, et quelques appareils de physique. Quatre années après, on l'avait envoyé à Londres, chez un constructeur d'instruments de navigation. Mais la faiblesse de sa santé et une grave maladie qu'il avait contractée en travaillant pendant toute une journée d'hiver près de la porte de l'atelier, l'avaient obligé de quitter Londres. Pour essayer les effets de l'air natal, il était revenu en Écosse, et s'était rendu à Glascow avec l'intention d'y exercer la profession de constructeur d'appareils de mathématiques. Mais la corporation d'arts et métiers de la ville, s'appuyant sur d'antiques priviléges, s'était obstinément opposée à ce qu'il ouvrît à Glascow le plus humble atelier. Le jeune artiste se trouvait donc dans une situation assez pénible, lorsque l'université intervint en sa faveur, et, pour terminer la difficulté, lui accorda le titre de son constructeur d'appareils de physique. Elle lui permit d'ouvrir une petite boutique dans un local de ses bâtiments. Il fut convenu que, tout en s'occupant de réparer ou de construire les appareils de l'université, il pourrait travailler pour le public aux divers objets de sa profession. Le nom qui fut inscrit sur l'humble enseigne de sa pauvre boutique était alors profondément inconnu, mais il était destiné à traverser les siècles : c'était le nom de JAMES WATT.

Digitized by Google

CHAPITRE VIII.

James Watt. — Ses découvertes concernant la machine à vapeur. — Ses expériences théoriques. — Découverte du condenseur isolé. — Machine à simple effet. — James Watt et le docteur Roebuck. — Association de Boulton et de Watt. — Nouvelles découvertes de Watt pour l'application de la machine à vapeur aux usages généraux de l'industrie. — Machine à double effet. — Parallélogramme articulé. — Application de la manivelle à la transformation du mouvement. — Régulateur à force centrifuge. — Découverte de la détente de la vapeur.

En arrachant le jeune Watt aux tracasseries de ses confrères, les professeurs de Glascow croyaient seulement s'être attaché un ouvrier adroit et d'un commerce agréable; mais ils ne tardèrent pas à reconnaître qu'ils avaient mis la main sur un homme supérieur. Les brillantes qualités intellectuelles du fabricant de l'université furent promptement appréciées, et bientôt son étroite boutique devint le lieu préféré où se rencontrait chaque jour tout ce que Glascow pouvait réunir d'hommes instruits et d'élèves studieux. L'un de ses contemporains, le docteur Robison, va nous faire connaître le rôle que jouait le jeune ouvrier mécanicien dans ce cercle de talents distingués :

« Quoique élève encore, dit l'auteur du *Philosophical Magazine*, j'avais la vanité de me croire assez avancé dans mes études favorites de mécanique et de physique, lorsqu'on me présenta à Watt. Aussi, je l'avoue, je ne fus pas médiocrement mortifié en voyant à quel point le jeune ouvrier m'était supérieur. Dès que, dans l'université, une difficulté nous arrêtait, et cela quelle qu'en fût la nature, nous courions chez notre artiste. Une fois provoqué, chaque sujet de-

venait pour lui un texte d'études sérieuses et de découvertes. Jamais il ne lâchait prise qu'après avoir entièrement éclairci la question proposée, soit qu'il la réduisît à rien, soit qu'il en tirât quelque résultat net et substantiel. Un jour la solution désirée sembla exiger la lecture de l'ouvrage de Leupold sur les machines : Watt apprit aussitôt l'allemand. Dans une autre circonstance et pour un motif semblable, il se rendit maître de la langue italienne... La simplicité naïve du jeune ingénieur lui conciliait sur-le-champ la bienveillance de tous ceux qui l'approchaient. Quoique j'aie assez vécu dans le monde, je suis obligé de déclarer qu'il me serait impossible de citer un second exemple d'un attachement aussi sincère et aussi général, accordé à quelque personne d'une supériorité incontestée. Il est vrai que cette supériorité était voilée par la plus aimable candeur, et qu'elle s'alliait à la ferme volonté de reconnaître libéralement le mérite de chacun. Watt se complaisait même à doter l'esprit inventif de ses amis de choses qui n'étaient souvent que ses propres idées présentées sous une autre forme (1). »

Les choses en étaient là, lorsque dans l'hiver de l'année 1763, le professeur de physique de la classe de philosophie naturelle du collége de Glascow envoya à James Watt un modèle de la machine de Newcomen, avec prière de le réparer. A cette époque, le développement considérable que l'industrie commençait à prendre en Angleterre avait répandu dans tous les esprits le goût des connaissances scientifiques, et dans la plupart des universités on avait eu la bonne pensée de seconder ces dispositions en adjoignant aux études littéraires l'exposition des éléments de la mécanique appliquée. Le collége de Glascow possédait, à cet effet, la collection de toutes les machines en usage dans l'industrie, et l'on voyait figurer dans ses galeries

(1) Arago, *Éloge historique de James Watt*, p. 266.

un très beau modèle de la machine de Newcomen. Mais en raison de certains défauts de construction, ce modèle n'avait jamais pu bien fonctionner, et le professeur Anderson chargea le jeune constructeur de l'université de le mettre en état de servir aux démonstrations du cours. Telle fut la circonstance qui amena James Watt à s'occuper pour la première fois de la machine à vapeur, dans laquelle, nouveau Christophe Colomb, il devait découvrir tout un monde.

James Watt se mit à réparer la machine du collége de Glascow, mais quand tout fut terminé et qu'il essaya de la faire fonctionner, il reconnut qu'elle pouvait à peine soulever le piston. En augmentant l'activité du feu, on obtenait quelques oscillations, mais alors il fallait employer, pour condenser la vapeur, une énorme quantité d'eau froide. Ce défaut tenait à un vice de proportion entre les dimensions du cylindre et celles de la chaudière : celle-ci était trop petite relativement à la capacité du corps de pompe, et elle ne pouvait fournir qu'une quantité de vapeur insuffisante pour mettre le piston en jeu. Watt diminua la longueur du cylindre, et dès lors la machine put marcher avec une certaine régularité.

Mais il y avait dans cette machine d'autres défauts beaucoup plus sérieux et qu'il était impossible de faire disparaître, parce qu'ils tenaient au principe même sur lequel reposait tout son mécanisme. La pompe à feu de Newcomen présente un vice de la dernière gravité. Lorsque l'eau d'injection afflue dans le corps de pompe, elle condense immédiatement la vapeur qui le remplit, ce qui permet à l'atmosphère, pesant sur la tête du piston, de le précipiter jusqu'au bas de sa course ; mais l'eau froide, une fois en contact avec les parois du cylindre échauffées par la vapeur, les refroidit aussitôt, et lorsque ensuite une nouvelle quantité de vapeur arrive sous le piston pour le soulever, cette vapeur est nécessairement ramenée en partie à l'état liquide en touchant les parois froides du cylindre. Une

grande partie de la vapeur envoyée par la chaudière est donc perdue, puisqu'elle est uniquement employée à réchauffer le corps de pompe. James Watt constata que le modèle de Glascow usait, à chaque oscillation du piston, un volume de vapeur plusieurs fois supérieur au volume du cylindre, ce qui amenait la perte de la moitié du combustible employé. Un second défaut inhérent à la machine de Newcomen, c'est que l'eau injectée dans le corps de pompe pour y condenser la vapeur s'échauffait elle-même en s'emparant du calorique latent de la vapeur condensée; dès lors cette eau échauffée fournissait des vapeurs, ce qui rendait le vide imparfait. La résistance que le piston rencontrait dans la machine de Glascow, par suite de cette dernière circonstance, était équivalente, selon James Watt, au quart de la pression atmosphérique.

Après avoir reconnu les vices de la machine de Newcomen, Watt pensa qu'il ne serait pas impossible de parer à ses défauts. Mais pour réaliser les perfectionnements dont cet appareil lui semblait susceptible, il fallait commencer par en fixer la théorie avec exactitude. C'est dans ce but que le jeune artiste se décida à entreprendre une série d'expériences relatives à la théorie des divers phénomènes sur lesquels repose l'emploi de la vapeur dans la pompe à feu de Newcomen. Il détermina donc, par expérience, la quantité de vapeur que fournit un poids donné de charbon dans une machine de ce genre. Il rechercha ensuite, d'une manière générale, le volume de vapeur que produit un certain volume d'eau porté à l'ébullition, et il reconnut ainsi qu'un volume d'eau liquide fournit environ 1700 volumes de vapeur. Ce fut en se servant de simples fioles à l'usage des pharmaciens, que Watt parvint à fixer ce chiffre important, que les expériences des physiciens modernes, exécutées avec toute la précision et la rigueur de nos méthodes actuelles, n'ont pu que légèrement modifier. Watt détermina également la quantité de chaleur mise en liberté par la condensation d'un certain volume d'eau, et c'est ici que

la théorie de Black sur la chaleur latente lui devint d'une haute utilité. Étonné de la grande quantité d'eau froide qu'il fallait injecter dans le cylindre de Newcomen pour y condenser la vapeur, et frappé de la chaleur considérable que cette eau empruntait au faible volume de vapeur contenu dans le cylindre, il cherchait inutilement à s'expliquer la cause de ce phénomène : « J'en parlai alors, dit-il, à mon ami le docteur Black, qui me développa à cette occasion sa doctrine du *calorique latent*, dont il avait conçu l'idée quelques années auparavant. Absorbé moi-même par mes travaux et mes propres recherches, j'avais pu entendre parler de cette nouvelle doctrine sans y donner toute l'attention qu'elle méritait, jusqu'au moment où je me vis ainsi arrêté devant l'un des principaux faits sur lesquels repose cette admirable théorie (1). » Guidé par les vues de Joseph Black, Watt put déterminer la quantité d'eau froide qu'il fallait injecter dans le cylindre d'une pompe de Newcomen de dimensions connues, pour obtenir une condensation parfaite, et le volume de vapeur qu'une pareille machine dépense à chaque oscillation du piston. Enfin, comme la force élastique de la vapeur s'accroît avec la température, il essaya, sans prétendre cependant résoudre en entier une question si difficile, de déterminer la force élastique de la vapeur correspondante à chaque degré du thermomètre.

Ainsi le pauvre fabricant d'instruments de l'université de Glascow se trouvait sérieusement engagé dans le grand problème du perfectionnement de la machine de Newcomen, question qui commençait alors à occuper un grand nombre d'ingénieurs distingués. En effet, malgré tous ses défauts et la dépense énorme de combustible qu'elle entraînait, la pompe de Newcomen était déjà très répandue en Angleterre. Employée dans un grand nombre de mines de houille à l'épuisement des eaux,

(1) Addition de Watt à l'article *Steam engine* du *Philosophical Magazine* de Robison, t. II, p. 117.

elle y remplaçait les moteurs anciennement en usage, et elle avait contribué à faire sortir cette branche importante de l'industrie britannique de l'état précaire où elle avait longtemps langui. Il était donc facile de prévoir de quelle importance serait, pour l'avenir du pays, une modification de cette machine qui, tout en ajoutant à la puissance de ses effets, permettrait d'économiser une grande partie du combustible. Watt embrassa d'un coup d'œil toute la portée de la tâche qu'il allait entreprendre; mais les travaux de sa profession absorbaient la plus grande partie de ses moments et l'empêchaient de suivre ses expériences avec l'attention et les soins nécessaires; il prit donc la résolution de se consacrer tout entier à l'étude expérimentale de la machine à vapeur.

Une circonstance nouvelle le décida à hâter l'exécution de ce projet. Il s'occupait avec ardeur des travaux de son atelier, pour venir en aide à sa famille, que de nouveaux revers venaient de réduire à un état voisin de la misère. La seule distraction qu'il se permettait, c'était de se rendre, le dimanche, dans une maison de campagne située aux environs de Glascow, et habitée pendant la belle saison par un de ses oncles, M. Miller. Or, M. Miller avait une fille de dix-huit ans. James Watt s'éprit de la jeunesse, des charmes et des qualités aimables de sa cousine, et sa demande ayant été agréée, il épousa miss Miller en 1764.

Cette union, en lui assurant une certaine aisance, le détermina à fermer le petit atelier qu'il occupait dans les bâtiments de l'université de Glascow. Il s'établit dans l'intérieur de la ville, avec l'intention d'y exercer la profession d'ingénieur civil, et de s'occuper en même temps de ses recherches sur le perfectionnement de la machine de Newcomen. Les heureuses qualités de miss Miller exercèrent sur les travaux de James Watt la plus heureuse influence. Quoique doué au suprême degré du génie de la mécanique, le célèbre constructeur avait

dans le caractère une indolence assez marquée. Celui qui, sur la fin de sa carrière, disait : « Je n'ai connu que deux plaisirs, la paresse et le sommeil, » avait besoin de ce doux et secret empire qu'exerce le cœur d'une femme aimée pour réveiller et tenir en haleine son insoucieux génie. Cette influence ne tarda pas à se manifester, car ce fut en 1765, un an après son mariage, que Watt, donnant enfin un corps aux idées qui depuis longtemps flottaient dans son esprit, réalisa la première et peut-être la plus importante de ses découvertes, celle du *condenseur isolé*.

On a vu que le vice capital de la machine de Newcomen consistait dans la nécessité de refroidir et de réchauffer alternativement le cylindre pour y opérer la condensation de la vapeur : le refroidissement du corps de pompe, par suite de l'injection de l'eau froide, faisait perdre l'effet utile des trois quarts du combustible employé. Le problème, regardé jusque-là comme insoluble par tous les ingénieurs, de condenser la vapeur sans refroidir le corps de pompe, fut complétement résolu, grâce à l'idée admirable qui vint à l'esprit de James Watt, de condenser la vapeur dans un vase isolé, séparé du cylindre et ne communiquant avec lui que par un tube. On conçoit, en effet, que si, au moment où le corps de pompe est rempli de vapeur, on ouvre tout d'un coup une issue à cette vapeur, à l'aide d'un robinet qui lui donne accès dans un vase continuellement entretenu à une basse température par un courant d'eau froide, toute la vapeur se précipitera dans l'intérieur de ce vase en raison de son expansibilité ; le vide sera même obtenu de cette manière beaucoup plus promptement, car la condensation de la vapeur appellera presque instantanément dans le second vase toute la vapeur qui remplissait le corps de pompe. Ainsi la condensation pourra s'opérer sans que jamais le cylindre soit refroidi ; une économie considérable de vapeur, et par conséquent de combustible, sera du même

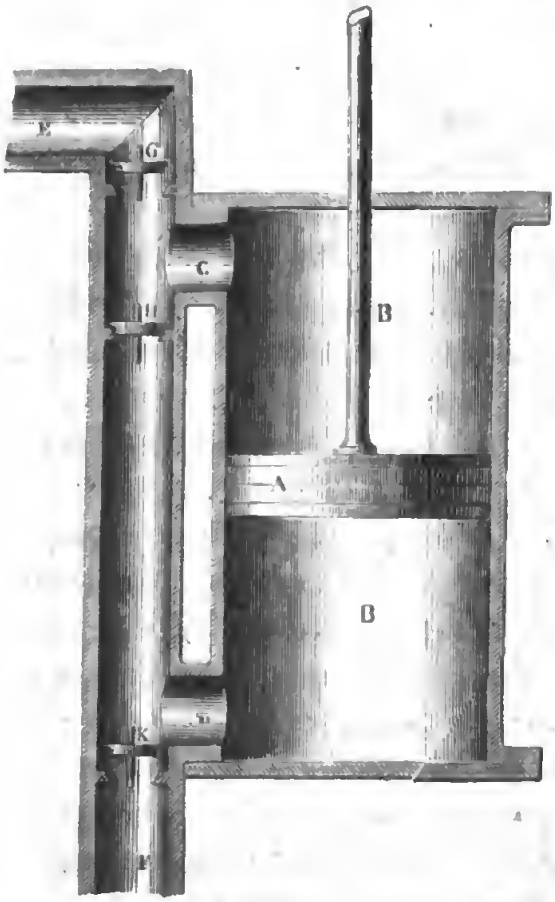
coup réalisée. L'appareil qui remplit cet important objet porte le nom de *condenseur*.

Mais il restait une autre difficulté, c'était de se débarrasser de la grande quantité d'eau employée pour refroidir le condenseur. Watt la surmonta en établissant, dans l'intérieur de ce vase, une pompe à eau mue par le balancier de la machine elle-même, et qui épuisait l'eau à mesure qu'elle avait servi à opérer la condensation. On perdait ainsi une partie de la force de la machine qui était employée à faire jouer la pompe; mais la perte était peu de chose relativement à celle que déterminait auparavant la condensation d'une grande partie de la vapeur sur les parois refroidies du cylindre.

Par l'addition du condenseur isolé, Watt apportait à la machine de Newcomen une modification capitale: il y diminuait de plus de moitié la dépense du combustible. Mais la machine ainsi modifiée reposait encore sur le même principe: c'était toujours la *machine atmosphérique* dans laquelle la force motrice était fournie par le seul poids de l'air s'exerçant sur la tête du piston. Par une invention postérieure, Watt changea complétement le principe moteur de cette machine. Bannissant toute intervention de la pression atmosphérique, il fit dépendre uniquement ses effets de la force élastique de la vapeur. Quelques détails sont nécessaires pour faire comprendre cette disposition nouvelle qui diffère complétement du système de Newcomen. La figure suivante permettra d'expliquer comment la force élastique de la vapeur fut mise à profit dans ce nouveau système, qui reçut le nom de *machine à simple effet*.

Le cylindre B est fermé à sa partie supérieure par un couvercle métallique percé d'une ouverture garnie d'étoupes grasses et bien pressées, de manière à laisser librement monter et descendre la tige du piston, en interceptant tout passage à la vapeur et à l'air extérieur. La vapeur qui arrive de la chaudière par un large tuyau E s'introduit par l'ouverture C dans

le haut du cylindre; là, exerçant sa pression sur la face supérieure du piston, elle le fait descendre jusqu'au bas de sa course. Comme le vide existe dans la partie inférieure du cylindre par suite de sa libre communication avec le condenseur, aucune résistance ne peut s'opposer à l'abaissement du piston. Si maintenant, au moment où le piston est arrivé au bas du corps de pompe, on ferme les soupapes G et K, et que l'on ouvre la soupape H, on met en communication le haut et le bas du cylindre; la vapeur, qui auparavant n'occupait que la partie supérieure du cylindre, peut communiquer librement, à l'aide du tuyau HK et de l'ouverture D, avec sa partie inférieure: ainsi le piston, qui tout à l'heure ne se trouvait pressé que par sa face supérieure, se trouve maintenant soumis sur ces deux faces à une égale pression. Or comme celle de Newcomen, la machine à simple effet porte un balancier dont le poids est augmenté par l'addition d'une masse pesante, ainsi qu'on le voit dans la figure de la machine de Newcomen (page 103); ces poids soulèvent le piston et le ramènent jusqu'au haut de sa course. On comprend que si l'on ferme maintenant la soupape H de manière à ne permettre à la vapeur que d'arriver à la partie supérieure du cylindre, tandis



que la soupape K, ouverte, laisse écouler la vapeur dans le condenseur, la force élastique de la vapeur doit précipiter de nouveau le piston à la partie inférieure du corps de pompe. Si alors on fait de nouveau communiquer entre elles les capacités supérieure et inférieure du corps de pompe, par l'action de la même cause, le même effet recommence, le piston remonte pour s'abaisser de nouveau, etc. Ainsi le simple jeu de ces trois soupapes provoque le mouvement continu de la tige du pistou.

Par ce nouvel et ingénieux emploi de la force élastique de la vapeur d'eau, Watt créa, on peut le dire, la véritable machine à vapeur. La machine de Newcomen ne méritait, à proprement parler, que le nom de *machine atmosphérique*, car la pesanteur de l'air était le seul élément auquel sa force fût empruntée. Pour la première fois on tirait la puissance motrice de l'unique action de la vapeur ; il serait donc jusqu'à un certain point permis d'attribuer à l'ingénieur de Glascow l'invention de la machine à vapeur moderne.

Les expériences multipliées auxquelles il devait se livrer pour arriver à de si importants résultats, Watt les exécutait dans un modeste atelier installé au rez-de-chaussée de sa maison, avec le secours d'un petit nombre d'ouvriers, confidents discrets de ses espérances et de ses travaux. Le modèle dont il se servit pour essayer le jeu de divers organes de sa machine consistait en un cylindre de cuivre de moins de deux pouces de diamètre auquel une chaudière fournissait de la vapeur, qui s'introduisait, à l'aide d'un tube bifurqué, au-dessus et au-dessous de la tête du piston. Les robinets se tournaient à la main. Le condenseur était simplement formé de deux tuyaux d'étain de dix pouces de longueur, disposés verticalement, et venant aboutir à un tuyau d'un diamètre plus grand qui plongeait dans un bassin d'eau froide. Pour juger définitivement le jeu des divers organes de sa machine, Watt la fit exécuter

en grand avec tous les éléments nouveaux qu'il avait imaginés. C'est à cette occasion qu'il fit pour la première fois usage de l'enveloppe de bois entourant le cylindre, communément appelée *chemise du corps de pompe*, et qui a pour effet de prévenir les pertes de chaleur que le cylindre éprouve par suite de son rayonnement dans l'air. Par cet artifice, il parvint à diminuer encore très sensiblement la dépense du combustible.

Ainsi la machine à vapeur était désormais complète. A la machine atmosphérique, dont les découvertes de Torricelli, de Pascal et d'Otto de Guericke avaient fait naître l'idée, que le génie de Papin et la sagacité de Newcomen avaient transportée dans la pratique, Watt substituait une machine infiniment supérieure par l'intensité de ses effets, et qui devait son principe à la seule force de la vapeur d'eau. Sous le rapport de la puissance et de l'économie, les avantages de ce nouveau moteur étaient de nature à dépasser toutes les espérances. Il ne restait donc plus qu'à le transporter dans la pratique industrielle. Mais l'auteur de tant de découvertes admirables n'avait aucune des qualités nécessaires pour faire comprendre à des capitalistes, obligés, par état, à beaucoup de défiance, toute la portée d'une invention nouvelle. Watt, assez insouciant par caractère, détestait l'exagération de promesses qui sont familières aux inventeurs de tous les rangs. D'ailleurs, il n'était pas encore entièrement satisfait des résultats qu'il avait obtenus; il rêvait des perfectionnements nouveaux, et répugnait à faire connaître ses idées avant d'avoir produit tout ce qu'il en espérait. Enfin les périls des entreprises industrielles avaient de quoi effrayer la timidité de son esprit; il hésitait à risquer ses faibles ressources sur cette mer trop fertile en naufrages. Une circonstance fortuite put seule le décider à céder aux instances de ses amis.

Quoique voué tout entier aux travaux de son art, Watt était

cependant assez répandu dans le monde où le faisaient rechercher ses qualités agréables et la gaieté de son humeur. Nourri de bonne heure de toute espèce de lectures, doué d'une mémoire prodigieuse, d'une parole facile et d'une imagination intarissable, il n'avait pas tardé à acquérir à Glascow la réputation d'un causeur accompli. Aussi sa maison était-elle le rendez-vous de tous les personnages distingués de la cité. Outre son ami le docteur Black, on trouvait chez lui : Adam Smith, le célèbre auteur des *Recherches sur la cause des richesses des nations;* Robert Simson, le patient restaurateur des ouvrages mathématiques des anciens, et divers littérateurs ou artistes qui aimaient à jouir des charmes et des profits de sa conversation. C'est par là que le docteur Roebuck fut amené à lier quelques relations avec James Watt. Roebuck, riche gentilhomme anglais, fondateur de la célèbre usine de Carron, se distinguait du reste des capitalistes par son esprit et sa bonne humeur. Il fut présenté à Watt et fréquenta sa maison. Le hasard d'un entretien amena ce dernier à lui communiquer les modifications qu'il avait apportées à la machine de Newcomen. Le capitaliste anglais était lancé à cette époque dans des spéculations assez difficiles pour l'exploitation des mines de houille et des salines de Borrowstones, dans le comté de Linlithgow. Comprenant toute la portée des inventions de Watt, il lui offrit immédiatement les capitaux nécessaires pour les exploiter : il proposait de se charger de toutes les dépenses, à la condition d'obtenir les deux tiers des bénéfices de l'entreprise. Le marché accepté, James Watt commença à construire à Kinneil, aux environs de Borrowstones, une pompe à feu qui fut placée à l'entrée d'un puits de mine, pour y servir à l'épuisement des eaux. Comme cette machine n'était qu'une sorte de dernier essai, Watt lui fit subir différentes modifications, jusqu'à ce qu'elle eût atteint un haut degré de perfectionnement. Pour s'assurer alors la propriété exclusive de ses

inventions, il s'occupa d'obtenir un brevet qui lui assurât le privilége de la construction des machines à vapeur modifiées. Ce brevet lui fut accordé en 1769 (1).

James Watt se disposait à créer un vaste établissement pour la construction des machines à vapeur, lorsque, à la suite de spéculations manquées, la fortune du docteur Roebuck vint à recevoir de graves atteintes qui l'obligèrent d'abandonner son entreprise. Watt, envers qui il se trouvait débiteur d'une somme assez importante, eut la générosité de rompre l'association et de le libérer de tout engagement. Ensuite, avec une modestie, une sérénité admirables, il reprit paisiblement le cours de ses occupations d'ingénieur. Pendant quatre ans il se consacra exclusivement aux travaux de cette profession. Il traça les plans et dirigea la construction d'un canal destiné à porter à Glascow le charbon des mines de Monkland. Il dressa les projets de divers autres canaux et se livra à des études relatives à certaines améliorations des ports d'Ayr, de Glascow et de Greenock. Il construisit les ponts d'Hamilton et de Rutherglen, et s'occupa enfin de l'exploration des terrains à travers lesquels devait passer le canal Calédonien. L'homme de génie, à qui le monde allait devoir, dans un délai prochain, les plus brillantes créations de la mécanique moderne, ne dédaignait pas de s'employer aux plus médiocres travaux d'un conducteur des ponts et chaussées. Un coup terrible, qui vint le frapper à cette époque, contribua encore à éloigner de son esprit les grands projets qui l'avaient un instant séduit. Pendant qu'il se trouvait retenu dans le nord de l'Écosse, il eut la douleur de perdre sa douce et tendre compagne. Tout entier à ses regrets, Watt n'accordait plus une seule pensée à ses premiers travaux; il semblait avoir oublié qu'il tenait dans

(1) Le texte du brevet de James Watt est rapporté dans la Note IV de ce volume.

ses mains la richesse future et presque les destinées de son pays. Heureusement ses amis ne l'oubliaient pas.

En 1774, on réussit enfin à triompher de ses répugnances, et on le décida à se mettre en rapport avec le célèbre industriel Mathieu Boulton, de Birmingham. Boulton possédait le génie de l'industrie autant peut-être que Watt celui de la mécanique ; il avait la réputation du plus riche, du plus habile et du plus entreprenant manufacturier de l'Angleterre. L'établissement qu'il avait fondé peu d'années auparavant à Soho, près de Birmingham, pour la fabrication de toutes sortes d'ouvrages de fer, d'acier, d'argenterie et de plaqué, était un des plus importants et des mieux tenus du royaume. A peine eut-il connaissance des modifications apportées à la machine à vapeur par l'ingénieur de Glascow, qu'il en devina tout l'avenir et n'hésita pas à mettre sa fortune entière à la disposition de l'inventeur. Il passa avec James Watt un acte d'association, et fit aussitôt construire une première machine de proportions considérables qui fut établie dans son usine de Soho, afin que le public pût être témoin de ses effets. Mais le brevet d'exploitation, pris en 1769 par James Watt, n'avait plus que quelques années à courir ; on s'adressa donc au parlement pour en obtenir la prolongation. Grâce au crédit et à l'activité de Boulton, le parlement consentit, non cependant sans de longues difficultés, à prolonger le privilége. En 1775, contrairement aux dispositions qui régissent les brevets, on accorda à Boulton et à Watt un nouveau privilége de vingt-cinq ans de durée, en considération du mérite éminent des inventions de l'auteur, attesté par les savants les plus recommandables de Londres. Boulton et Watt purent alors se lancer hardiment dans la carrière brillante qui s'ouvrait devant eux.

Par le genre particulier et surtout par la diversité de leur esprit, Boulton et Watt semblaient avoir été, chacun de son côté, créés tout exprès pour mener à bien une entreprise de

cette nature. « M. Watt, dit Playfair, était réservé, studieux et fuyant le monde ; au lieu que M. Boulton était un homme remuant, actif, intelligent, très répandu dans la haute société, et cependant ennemi des façons et sachant se mettre à l'aise avec les hommes de toutes les classes. Quand M. Watt aurait cherché par toute l'Europe, il n'aurait pu trouver personne aussi propre à produire ses inventions d'une manière aussi digne de leur mérite et de leur importance. Quoique tous deux fussent de mœurs tout à fait différentes, il semblait que le ciel les eût faits l'un pour l'autre, car on ne vit jamais, dans le commerce ordinaire de la vie, plus d'harmonie qu'il n'en régnait entre ces deux hommes (1). »

Le brevet obtenu, Boulton convertit une partie de son établissement de Soho en ateliers consacrés à la fabrication des machines à vapeur. On fit constater par des expériences authentiques, exécutées sous les yeux des propriétaires et des actionnaires des mines, l'économie réalisée par la nouvelle pompe à feu installée à Soho ; il fut reconnu qu'à égalité d'effet, elle réduisait des trois quarts la dépense du combustible consommé par la machine de Newcomen. Bientôt, grâce au système établi par Boulton pour l'exécution des différentes pièces mécaniques, plusieurs machines à feu, destinées à l'épuisement des mines, se trouvèrent construites et prêtes à fonctionner. C'est alors que l'on fut témoin, en Angleterre, d'un phénomène industriel qui probablement ne se reproduira jamais, et qui faisait également honneur à l'audace du spéculateur et au génie du mécanicien. Boulton et Watt ne vendaient pas leurs machines, ils les donnaient à qui voulait les prendre, ils se chargeaient même de les monter et de les entretenir à leurs frais ; quant aux anciennes machines de Newcomen, on les reprenait à un prix bien au-dessus de leur valeur. Boul-

(1) *Memoirs by Playfair* (*Monthly Magazine*, 1819).

ton avança de cette manière jusqu'à 47,000 livres sterling (1,175,000 fr.) avant de songer à effectuer une seule rentrée. Toute la redevance qu'il réclamait des propriétaires des mines, c'était *le tiers de la somme annuellement économisée sur le combustible.*

En présence de telles conditions, les propriétaires des mines ne pouvaient hésiter longtemps. Les machines de Watt commencèrent à être adoptées dans le Cornouailles, où le prix du charbon les rendait doublement précieuses. Elles se répandirent de là dans la plupart des comtés houillers de l'Angleterre, et les associés commencèrent à réaliser d'importants bénéfices. En effet, la combinaison imaginée par Boulton, avec toutes les apparences d'une générosité exemplaire, avait pour résultat de porter le prix des machines à un taux exorbitant. On en jugera par un exemple. Dans les mines de Chacewater, où l'on employait trois pompes à feu, les propriétaires payaient annuellement à Boulton et Watt, pour le tiers du combustible économisé, la somme de 60,000 francs (1).

Les propriétaires des mines, qui d'abord avaient accepté cette combinaison avec reconnaissance, ne purent se résigner longtemps à voir les associés toucher des droits si élevés. Ils ne considéraient pas que le tribut qu'ils payaient annuellement n'était que la moitié de la somme qu'ils consacraient autrefois

(1) « Afin d'obtenir, dit Robert Stuart, des données positives pour l'évaluation de cette espèce de tribut, une série d'expériences fut entreprise par des hommes d'une habileté et d'une probité reconnues. Étant donnés la profondeur de la mine, le diamètre des corps de pompe, et le nombre des coups de piston avec une machine quelconque, ordinaire ou perfectionnée, il ne leur restait plus qu'à apprécier l'économie de combustible pendant un certain nombre de coups de piston, et ce prix devenait la base sur laquelle ils établissaient leurs calculs. Pour compter le nombre des coups de piston, on adapta au balancier un petit appareil consistant en un système de roues enfermées dans une boîte disposée de façon que chacun des mouvements ascendants ou descendants du balancier faisait avancer d'un pas les petites roues, ainsi qu'un petit index qui

à l'achat du combustible. On mettait de jour en jour plus de répugnance à s'acquitter, et bientôt des procès nombreux vinrent menacer sérieusement le sort de l'entreprise de Boulton. On s'appuyait sur de prétendus perfectionnements apportés aux appareils de Watt, pour se déclarer affranchis de toute redevance ; on allait fouiller les bibliothèques pour y découvrir des titres d'antériorité contre lui et demander la déchéance de ses brevets. Le grand argument consistait à prétendre que Watt avait été bien suffisamment rétribué de ses peines, pour un homme qui, en fin de compte, n'avait inventé que des idées. C'est ce qui amena devant le tribunal cette apostrophe d'un avocat : « Allez, messieurs, allez vous frotter à ces prétendues idées abstraites, à ces combinaisons intangibles, ainsi qu'il vous plaît d'appeler nos machines ; elles vous écraseront comme des mouches, elles vous lanceront dans les airs à perte de vue ! »

Cependant l'imperfection que présentait à cette époque la loi anglaise concernant les brevets laissait une large prise à la mauvaise foi et à la fraude. Il régnait, en outre, dans l'esprit des juges, beaucoup de préventions et de défiance contre les brevetés ; leurs seigneuries déployaient un zèle et une ardeur infatigables pour découvrir des vices de forme dans les brevets de James Watt, et pour chercher dans le texte d'anciennes lois des dispositions opposées à son privilége. Aussi, en dépit

indiquait cette progression. Ce petit appareil s'appelait le *compteur*. Deux clefs seulement pouvaient l'ouvrir, dont l'une restait entre les mains des propriétaires de la machine, l'autre dans celles de MM. Watt et Boulton, qui avaient un commis voyageur chargé de reconnaître de temps à autre la situation des choses. On ouvrait en présence des deux parties les *compteurs*, et le tribut à prélever se trouvait déterminé par le nombre des coups de piston donnés. Ce prélèvement annuel, toutefois, pouvait être racheté par le paiement d'une somme une fois donnée, égale au produit de dix années. Il y avait différentes manières de disposer le compteur et de le faire marcher. » (*Histoire descriptive de la machine à vapeur*, p. 190.)

de l'évidence de leurs droits, James Watt et Boulton furent-ils battus en cour de justice.

Cet échec était grave : il redoublait l'audace et les prétentions des plagiaires. Des capitalistes qui n'auraient pas osé enfreindre ouvertement les brevets de James Watt, encouragés par ce premier succès, s'employaient activement à faire délivrer à des hommes sans crédit des brevets nouveaux spécifiant quelque modification insignifiante ; puis, armés de ces pièces suspectes, ils venaient battre en brèche, devant le tribunal, les réclamations des associés. Ces difficultés chaque jour renaissantes, et qui devenaient de plus en plus compliquées, auraient été de nature à déconcerter un autre homme que Watt. Mais il était sorti vainqueur, durant sa vie, de combats plus difficiles, il ne recula pas devant ces luttes nouvelles. Il se décida à abandonner pour quelque temps la surveillance de ses ateliers, et se rendit à Londres pour y mener, au milieu des gens d'affaires et des hommes de justice, l'existence agitée du plaideur. Pendant huit années consécutives, le génie du grand mécanicien fut détourné de sa voie naturelle, et, dans ce long intervalle, il eut, malheureusement pour nous tous, le temps de devenir un légiste accompli. Le succès vint enfin couronner ses efforts, mais l'heure de la justice avait été longue à sonner. Ce ne fut qu'en 1799, trente-cinq ans après ses premières découvertes, que libéré définitivement par une décision de la cour du roi, il fut remis en possession entière de son privilége. Seulement, comme le terme de son brevet expirait l'année suivante, cette satisfaction était presque dérisoire. C'est ce qui faisait dire gaiement à James Watt, qu'il se félicitait d'habiter un pays dans lequel il ne faut que trente-cinq ans de discussion et une douzaine de procès pour assurer à un citoyen la récompense de son travail.

Vers l'année 1776, à peu près déchargé du trop long ennui des contestations judiciaires, Watt put revenir à ses travaux

accoutumés, et dès lors il se voua sans réserve à la solution du problème capital qui depuis plusieurs années ne cessait de se poser dans son esprit. La machine n'avait été jusque-là consacrée qu'à l'épuisement de l'eau dans les mines; il voulait transformer la puissance dont il s'était rendu maître en un moteur susceptible de recevoir toutes les applications que peut exiger l'industrie; il avait créé la *pompe à feu*, il fallait créer le moteur universel. Ce grand problème, son génie devait le résoudre de la manière la plus absolue dans son principe général et dans ses détails les plus délicats, grâce à une série de découvertes dont il nous reste à exposer les éléments.

On a vu que dans la *machine à simple effet* (page 126), dans laquelle James Watt substituait à la pression atmosphérique la seule puissance de la vapeur, l'action motrice ne s'exerce réellement que pendant l'élévation du piston; l'oscillation descendante est simplement déterminée par le contre-poids attaché au balancier qui fait retomber le piston, lorsque la pression de la vapeur est rendue égale sur ses deux faces. Il y avait donc dans le jeu de cette machine une interruption d'action manifeste. Cet inconvénient n'avait qu'une faible importance quand il ne s'agissait que d'élever les eaux; l'exploitation des mines pouvait parfaitement se contenter d'une telle disposition. Mais pour l'application de la machine à vapeur à tous les usages de l'industrie, ce défaut n'était aucunement tolérable. Le travail égal et continu des manufactures exigeait que la force motrice pût s'exercer aussi bien pendant l'ascension que pendant la chute du piston; il fallait obtenir de la machine à vapeur une continuité d'effet. Watt parvint à atteindre ce résultat important par un moyen des plus simples. Au lieu de se borner à faire agir la vapeur sur la tête du piston, il la dirigea alternativement au-dessus et au-dessous de celui-ci, de manière à provoquer par la seule action de la vapeur son élévation et sa chute. Il établit les communications entre le cylindre

et le condenseur, de telle sorte que la vapeur contenue dans la capacité située au-dessus du piston s'écoulait dans le condenseur au moment même où le piston était arrivé au bas de sa course; dès lors la vapeur, arrivant au-dessous du piston pour le soulever, ne rencontrait aucune résistance capable de contrarier son effet, puisque par suite de la condensation de la vapeur qui remplissait naguère la partie supérieure du cylindre, un vide parfait existait dans cette capacité. Cette nouvelle disposition de la machine à vapeur rendait son mécanisme parfait; les contre-poids énormes que l'on avait employés jusque-là pour équilibrer le piston devenaient ainsi inutiles, et pour la première fois on put débarrasser la machine de ces lourdes masses qui formaient le balancier de Newcomen. On put également faire disparaître les quantités considérables de fer ou de bois que l'on employait dans la construction de certaines pièces de la machine pour adoucir ses mouvements. La *machine à double effet* exécute dans le même temps le double d'ouvrage que la machine à simple effet; mais elle dépense deux fois plus de vapeur. L'avantage réside donc seulement dans la succession plus rapide de ses effets, circonstance de la plus haute utilité, lorsque la machine est destinée à servir de moteur d'une application universelle.

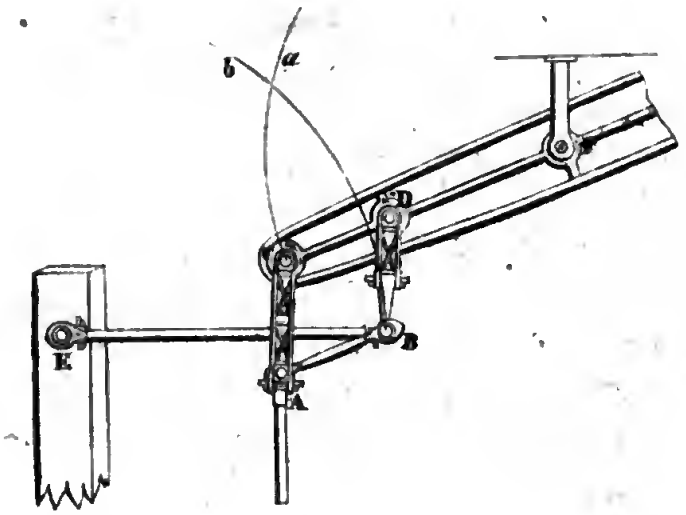
Pour tirer parti de la force motrice développée par la machine à vapeur ainsi modifiée, il fallait de toute nécessité adopter une manière nouvelle de communiquer au balancier le mouvement du piston. Il est facile de comprendre, en effet, que le moyen employé dans la machine de Newcomen, dans laquelle la vapeur n'imprime qu'une impulsion de haut en bas, ne pouvait s'appliquer à la machine à double effet, qui fournit une impulsion de haut en bas et de bas en haut. Dans la machine de Newcomen, deux chaînes de fer fixées à ses deux extrémités, comme on le voit dans la figure (page 103), suffisaient pour mettre le balancier en jeu. Dans l'oscillation descen-

dante, le piston tirait le balancier par le secours de la chaîne; dans l'oscillation ascendante, c'était le balancier ou son contrepoids qui, au moyen de la seconde chaîne, faisait remonter le piston. Mais dans la machine à double effet, la pesanteur n'entre pour rien, c'est la vapeur seule qui fait monter et descendre le piston. Il fallait donc imaginer un autre procédé pour communiquer au balancier les deux mouvements ascendant et descendant; il fallait, pour cela, faire coïncider le mouvement de l'extrémité du balancier qui décrit un arc de cercle avec le mouvement rectiligne de la tige du piston.

Dans ses premières machines, Watt s'était contenté de garnir la partie de la tige du piston qui s'élève au dehors du corps de pompe, d'une série de dents qui engrenaient dans une roue dentée. Cette sorte de crémaillère constituait le procédé le plus simple pour transmettre le mouvement; mais indépendamment de son peu d'élégance, elle ne manœuvrait qu'avec grand bruit et était sujette à se déranger, surtout quand on voulait imprimer au mouvement une seconde direction. Watt remplaça ce mécanisme trop élémentaire par un appareil plus compliqué et qui porte le nom de *parallélogramme articulé*.

La figure suivante représente les éléments et le jeu de cet ingénieux appareil. La figure ABCD constitue un parallélogramme susceptible de prendre toutes sortes de positions à l'aide de tourillons ou charnières placées à chacun de ses angles. La ligne BE représente un levier rigide, articulé en B avec le parallélogramme, et relié en E à un centre fixe autour duquel il peut tourner en décrivant un arc de cercle. L'extrémité de la tige du piston est fixée à l'angle A du parallélogramme. Quand le balancier CF est poussé en haut par l'élévation de la tige du piston à laquelle il est attaché, il tend à se mouvoir suivant la ligne courbe C*a*. Mais la tige EB, à laquelle il est relié par l'intermédiaire du côté DB du parallélogramme tend à l'entraîner dans la direction de la ligne B*b*,

du cercle qu'elle décrit. Si la position du centre E est convenablement choisie, il résulte de la combinaison de ces deux mouvements que la tige AC, ou le prolongement de la tige du piston, sollicitée suivant les deux directions C*a* et B*b*, suit une direction intermédiaire qui n'est autre chose qu'une ligne à



peu près droite AC. Ainsi la partie AC se meut toujours verticalement, et elle agit pour mettre en mouvement le balancier, soit que le piston, en s'élevant, ait pour effet de le pousser en haut, ou qu'en s'abaissant, il ait pour résultat de le tirer en bas.

Tel est le principe du curieux mécanisme imaginé par James Watt, en 1784, pour transmettre au balancier le mouvement du piston. Quelques dispositions différentes ont été adoptées plus tard pour la construction de cet appareil, mais elles n'ont rien changé au principe général sur lequel repose son mécanisme.

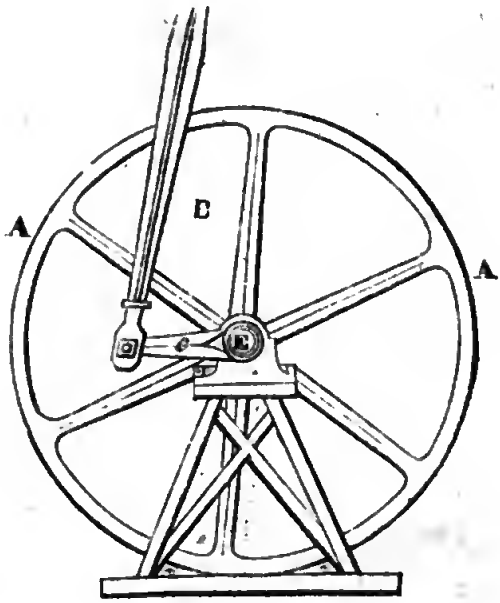
La force une fois commodément transmise au balancier, il fallait s'occuper de transformer le mouvement de *va-et-vient* de ce balancier en un mouvement de rotation, propre à faire marcher une roue, et à s'adapter par conséquent à tous les

usages auxquels un moteur peut être consacré. Le mécanicien Stewart avait tenté, sans y réussir, d'employer, dans cette vue, des roues à rochet. Watt résolut le problème d'une manière beaucoup plus heureuse, par une simple application de la manivelle du rémouleur. « Des nombreux projets, dit James Watt, qui me passèrent par la tête, aucun ne me parut si propre à me conduire au but que je me proposais d'atteindre, que l'application d'une simple manivelle dans le genre de celle dont se sert le rémouleur, et qu'il fait mouvoir avec le pied : invention de grand mérite, et dont on ne connaît ni la date ni le modeste inventeur. »

L'appareil imaginé par Watt pour appliquer la manivelle du rémouleur à la transformation du mouvement rectiligne de la tige du piston en un mouvement rotatoire, donna les meilleurs résultats. Mais il arriva que l'un de ses concurrents, M. Wasbrough, en eut connaissance par suite de l'infidélité d'un ouvrier, et qu'il s'empressa de prendre un brevet spécifiant l'application de la manivelle au mécanisme de la machine à vapeur. Watt avait jugé inutile de prendre un brevet pour un moyen connu depuis un temps immémorial et qui se trouve employé dans tous les rouets des fileuses et dans toutes les roues de rémouleurs. Il aurait sans peine prouvé judiciairement que l'on ne pouvait interdire à personne l'usage d'un artifice aussi banal. Il trouva plus simple d'arriver au même but par une autre voie, et il inventa l'appareil connu en Angleterre sous le nom *du soleil et des planètes*, assemblage de roues dentées qui réalise un mouvement rotatoire. Mais cet appareil, délicat à construire, coûteux et sujet à se déranger, fut abandonné par Watt dès que l'expiration du brevet de M. Wasbrough lui permit de revenir à l'emploi de la manivelle.

La manivelle et le volant, qui, dans les machines actuelles, servent à transformer le mouvement rectiligne de la tige du

piston en un mouvement circulaire, sont représentés dans la figure ci-jointe. B est la bielle ou tige qui descend de l'extrémité du balancier; elle s'articule avec la manivelle C dont le bras est lié au centre E de la roue ou volant A, et peut tourner avec cette roue. Lorsque le balancier s'abaisse, par suite du mouvement du piston, il abaisse en même temps la manivelle et fait tourner le volant, dont la vitesse acquise le fait



élever au-dessus du centre E; alors le balancier, en se relevant par le second coup de piston, communique son mouvement au volant et lui fait achever de décrire le cercle : un mouvement de rotation continu est donc produit par cet artifice fort simple.

Une force considérable et une continuité d'effet ne sont pas les seules conditions que doit réunir une machine destinée à devenir d'un usage général comme moteur. Pour la plupart des industries auxquelles elle doit s'appliquer, la régularité, l'égalité d'action, sont tout aussi importantes que l'intensité de la force. Or, tout le monde voit que l'effet mécanique produit

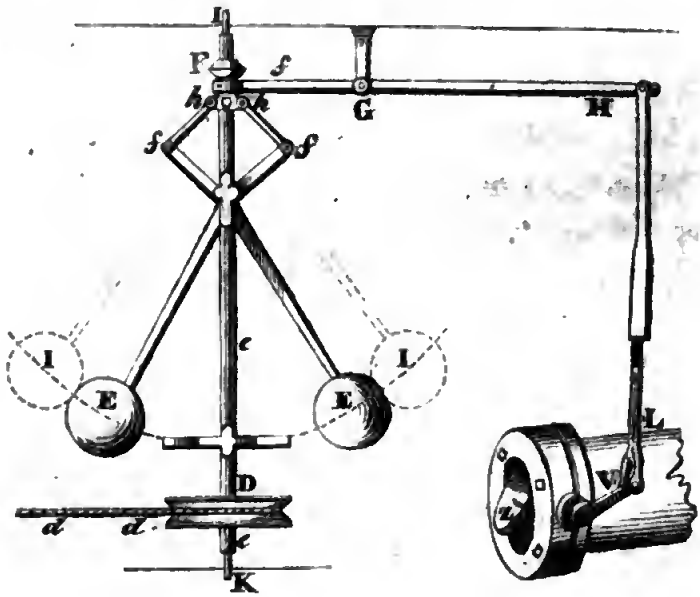
par la machine à vapeur doit être d'une irrégularité excessive. Le degré de sa puissance dynamique dépend en effet du nombre de coups de piston qu'elle frappe dans un temps donné ; or ceux-ci varient nécessairement selon que le feu est activé ou ralenti dans le foyer. Une force qui s'engendre par des pelletées de charbon jetées sous une chaudière doit naturellement présenter dans son intensité les plus grandes variations. C'est à ce défaut si grave qu'il importait de parer. Rien de plus aisé à comprendre que la simple et admirable disposition que le génie de Watt imagina pour y porter remède.

Admettons que, dans l'intérieur du tuyau destiné à introduire dans le cylindre la vapeur fournie par la chaudière, on dispose une sorte de soupape ou plaque mobile, susceptible de fermer ce tuyau ou de le laisser ouvert, de manière à suspendre ou à rétablir à volonté la communication entre la chaudière et le cylindre; selon que cette plaque mobile sera plus ou moins ouverte, une quantité de vapeur plus ou moins grande sera admise dans le corps de pompe : cette soupape donnera donc le moyen de modérer et de régler le jeu de la machine, puisque, en augmentant ou en diminuant la quantité de vapeur qui arrive dans le cylindre, elle aura pour effet d'augmenter ou de diminuer le nombre des coups de piston. Cette soupape, Watt est parvenu, par un artifice des plus ingénieux, à la faire manœuvrer par la machine elle-même; de telle sorte que, lorsque les mouvements du piston sont trop précipités, la machine ferme en partie cette soupape et réduit ainsi la quantité de vapeur introduite; si, au contraire, les coups de piston se ralentissent, elle dilate la soupape, et admettant ainsi dans le cylindre une plus grande quantité de vapeur, elle augmente, dans la proportion nécessaire, l'intensité des effets mécaniques. L'appareil qui sert à obtenir ce curieux et remarquable effet était désigné par James Watt sous le nom de *gouverneur*. Il en trouva l'idée dans un petit mécanisme employé depuis long-

temps dans les moulins à farine pour écarter ou rapprocher les meules et régulariser ainsi leur mouvement.

La figure suivante fera comprendre le jeu de cet appareil de Watt, que l'on désigne aujourd'hui sous le nom de *régulateur à force centrifuge.*

dd est une corde ou une chaîne sans fin qui embrasse une poulie D tournant autour de la tringle verticale DF, qui est elle-même mobile et tourne autour des points fixes I, K. EE sont deux boules métalliques fixées à l'extrémité de deux



leviers brisés. Ces leviers sont coudés au point où ils touchent la tringle D, et, au moyen de deux articulations ou charnières *ff*, ils se rattachent à deux autres leviers plus courts *fh*, attachés eux-mêmes à une espèce de cylindre F qui peut glisser librement de haut en bas sur la tringle verticale *e*. Ce petit cylindre est lié lui-même à un levier horizontal FH, qui a son point d'appui en G, et qui porte à son extrémité une bielle ou tige verticale HL, qui fait mouvoir, à l'aide d'une manivelle V, la soupape ou plaque mobile Z qui est destinée à régler l'entrée de la vapeur dans le cylindre.

Voici maintenant le jeu de ces différentes pièces. Lorsque le balancier marche avec le degré de vitesse convenable, les boules de métal, par l'intermédiaire de la corde *dd* qui se trouve liée à l'arbre de la machine, tournent autour de la tringle avec la position représentée dans la figure. Mais si le mouvement vient à s'accélérer, il se transmet à la tringle par la corde de la poulie, et dès lors les globes, entraînés par la force centrifuge, s'écartent et prennent la position représentée par les circonférences pointées I, I. Cet écartement des boules a pour effet nécessaire l'abaissement des petits leviers *fh*, ainsi que du cylindre F et de l'extrémité du levier horizontal FH qui vient y aboutir ; par suite, l'extrémité H de ce dernier levier s'élève, elle entraîne alors dans son mouvement la tige HL qui, au moyen de la manivelle V, ferme en partie la soupape Z, et diminue ainsi la quantité de vapeur introduite dans le cylindre. Si, au contraire, le mouvement de la machine vient à se ralentir, il se produit dans le jeu des mêmes pièces des effets inverses des précédents : les boules, tournant avec moins de rapidité, se rapprochent l'une de l'autre, et, par suite du mouvement des leviers auxquels elles sont liées, la soupape Z s'ouvre davantage et laisse pénétrer dans le corps de pompe une plus grande quantité de vapeur, ce qui accélère aussitôt les mouvements du piston. C'est donc à bon droit que cet ingénieux appareil est désigné sous le nom de *régulateur*.

Telle est l'efficacité de ce curieux mécanisme que, selon Arago, « on voyait, il y a peu d'années, à Manchester, dans la filature de coton d'un mécanicien de grand talent, M. Lee, une pendule mise en action par la machine à vapeur, et qui marchait, sans trop de désavantage à côté d'une pendule ordinaire à ressort. »

La dernière des découvertes de Watt est relative à l'emploi de la détente de la vapeur, conception des plus remarquables,

dont l'honneur revient tout entier au célèbre mécanicien, bien qu'il n'en ait jamais tiré lui-même un parti étendu. Quelques explications sont nécessaires pour bien comprendre en quoi consiste le phénomène de la détente de la vapeur, qui fournit dans les machines modernes les résultats les plus remarquables sous le rapport de l'économie du combustible.

Si le robinet qui sert à introduire la vapeur dans le cylindre reste ouvert pendant toute la durée du mouvement ascendant ou descendant du piston, celui-ci arrivera à l'extrémité de sa course avec une vitesse toujours croissante et qui aura pour résultat d'imprimer à toutes les pièces de la machine un choc et un ébranlement fâcheux. Mais si, au lieu de laisser le robinet d'admission ouvert pendant toute la durée de l'oscillation du piston, on le ferme lorsque celui-ci est parvenu seulement au tiers ou à la moitié de sa course, la quantité de vapeur ainsi introduite suffira pour produire le refoulement du piston, car la vapeur, se dilatant dans le vide à la manière d'un gaz, continuéra de presser le piston, qui, en raison, d'ailleurs, de sa vitesse acquise, arrivera aisément à l'extrémité de sa course. Ainsi une moindre quantité de vapeur sera employée pour faire marcher le piston. En agissant de cette manière, la vapeur ne pourra pas évidemment produire un effet dynamique aussi puissant que si elle agissait à pleine pression pendant toute la durée de la course du piston, mais aussi la quantité de vapeur dépensée ne sera que la moitié ou le tiers de celle qu'on aurait employée en opérant à pleine pression. Pour reconnaître si cette disposition présente des avantages, il suffit donc de savoir si, par ce moyen, la dépense du combustible est réduite dans un plus grand rapport que l'effet produit. Or, c'est ce que l'expérience a parfaitement établi.

L'emploi de la vapeur avec détente, introduit depuis quelques années dans la plupart de nos machines, a permis de réaliser une économie considérable sur le combustible, et selon

Arago : « de très bons juges placent la détente, quant à la dépense économique, sur la ligne du condenseur. » Cependant Watt ne l'a mise en usage que vers 1782, dans un petit nombre de machines, et son but principal, dans l'emploi de ce moyen, était de modérer la vitesse de la chute du piston, et de rendre uniforme le mouvement accéléré qui lui est propre lorsque la vapeur agit à pleine pression. Ce n'est qu'à notre époque que la détente de la vapeur a été utilisée de manière à réaliser les avantages considérables qui résultent de son emploi.

Par cette belle série de découvertes, dont aucune n'avait été le produit du hasard, mais qui résultaient toutes de persévérantes recherches, Watt avait donc résolu ce grand problème du moteur universel tant cherché depuis un siècle. Un simple ouvrier mécanicien, sans fortune et sans études, s'emparant d'une machine imparfaite, et qui depuis cinquante ans fonctionnait sans progrès notable, l'avait transformée en un agent moteur d'une force presque sans mesure et d'une application illimitée. En raison du principe sur lequel elle repose, sa puissance motrice était incalculable ; grâce aux artifices employés pour en modérer et en régulariser l'action, elle pouvait servir aux usages les plus variés et les plus délicats. Aussi quelques années suffirent pour couvrir de ses précieux appareils le sol de l'Angleterre. Dans les grands centres manufacturiers, tels que Birmingham, Manchester, Liverpool, etc., la machine à vapeur fut appliquée au cardage de la laine et du coton, à la fabrication des draps et de tous les tissus de fil, de coton ou de soie. Par son secours, l'importante industrie de l'extraction de la houille ne tarda pas à étendre ses bénéfices dans une proportion extraordinaire. Elle fut ensuite employée dans les usines métallurgiques, pour marteler, laminer le fer, le cuivre et le plomb, pour étirer en fil le fer et l'acier ; on l'appliqua à tous les travaux hydrauliques, au sciage mécanique du bois,

à la fabrication du papier, de la porcelaine et de la faïence, à l'impression des livres, à la préparation et au broiement des couleurs destinées à la teinture ; en un mot, à presque toutes les branches de l'industrie britannique.

Un chiffre suffira pour faire connaître l'économie prodigieuse que l'emploi de la machine à vapeur a permis de réaliser dans les opérations industrielles. Selon Arago, un boisseau de charbon brûlé dans les machines à vapeur du Cornouailles produit l'ouvrage de vingt hommes travaillant dix heures. Or, dans les comtés houillers de l'Angleterre, un boisseau de charbon coûte environ 90 centimes. La machine de Watt a donc permis, en Angleterre, de réduire le prix d'une journée d'homme, de la durée de dix heures, à moins de 5 centimes de notre monnaie. Après un tel résultat, on est moins surpris d'apprendre que, suivant des relevés authentiques, les machines à vapeur qui existent aujourd'hui en Angleterre remplacent à elles seules le travail de trente millions d'hommes.

CHAPITRE IX.

Dernières années de James Watt.

Ces machines admirables qui devaient exercer une influence si extraordinaire sur la prospérité de la nation britannique, Watt les faisait exécuter sous ses yeux dans l'immense établissement de Soho. C'est de là que partaient tous les puissants appareils qui allaient fonctionner dans les diverses parties des trois royaumes. La manufacture de Soho était pour les Anglais une sorte d'école des ponts et chaussées ; c'était comme un établissement d'instruction pour les ingénieurs et les méca-

niciens de la Grande-Bretagne. Les étrangers s'y rendaient aussi pour étudier le mécanisme des nouvelles machines et pour en transporter l'usage dans leur patrie. C'est ainsi que Bettancourt, envoyé par le gouvernement espagnol, put introduire dans son pays les premiers appareils de ce genre; l'habile ingénieur avait deviné le mécanisme de la machine à double effet à la seule inspection de son jeu extérieur. C'est encore de la même manière que l'aîné des frères Perrier, qui fit, dans cette vue, jusqu'à cinq voyages en Angleterre, put installer à Paris une machine à vapeur qui n'était qu'une imitation de la machine de Watt à simple effet. C'est la même machine qui fonctionne encore aujourd'hui sur les rives de la Seine pour la distribution des eaux, et qui est connue sous le nom de *pompe à feu de Chaillot.*

Watt continua de résider à Birmingham ou à Soho jusqu'au terme de son association avec Mathieu Boulton; leur société devait durer jusqu'à l'expiration du premier brevet de Watt. Ce brevet, concédé en 1775, pour un espace de vingt-cinq années, expirait en 1800. A cette époque. James Watt et Mathieu Boulton se séparèrent de la Société; ils y furent remplacés chacun par son fils, et la nouvelle compagnie continue de diriger de nos jours l'admirable établissement dû à la persévérance et au génie de ses fondateurs.

En se retirant des affaires, James Watt vint se fixer dans une terre voisine de Soho, nommée Heathfield, dont il avait fait l'acquisition en 1790. Il passa ses derniers jours dans cette heureuse retraite, pratiquant les maximes de sa douce philosophie, jouissant du repos et des biens acquis pendant le cours de sa glorieuse carrière, éprouvant le bonheur ineffable d'être témoin de l'extension prodigieuse que prenait, par suite de ses travaux, la prospérité de sa patrie. Les plaisirs et les relations de la société l'occupèrent exclusivement jusqu'à la fin de sa vie. Pendant qu'il résidait à Birmingham ou à Soho, il avait

pris l'habitude de réunir autour de lui un petit cercle d'amis, parmi lesquels se remarquaient l'illustre chimiste Priestley, le poëte Darwin, le botaniste Withering, le chimiste Keir, traducteur de Macquer, M. Edgeworth, père de miss Maria Edgeworth, et quelques artistes ou littérateurs en renom. Cette petite académie portait le nom de Société lunaire (*lunar Society*), titre sur lequel il est bon de ne pas prendre le change, et qui signifiait seulement que les académiciens se réunissaient les soirs de pleine lune afin d'y voir clair en rentrant chez eux. Watt rassembla à Heathfield les restes épars de sa petite académie, et c'est dans ce cercle distingué qu'il aimait à s'abandonner à sa verve de causeur et de conteur. Nul ne possédait ces talents à un plus haut degré. Il avait dévoré dans sa jeunesse tous les ouvrages de fiction et de poésie légère, et sa mémoire y retrouvait le texte d'inépuisables emprunts. A leur défaut, son imagination lui suggérait, pendant des soirées entières, toutes sortes de récits de fantaisie que son air de conviction et l'assurance de son débit faisaient accepter comme autant de faits incontestables. Que d'anecdotes racontées dans les *Revues* anglaises et dans les *Magazines*, qui n'étaient que des jeux de l'imagination de Watt bénévolement transmis au public par ses auditeurs mystifiés ! Un jour cependant, ayant étourdiment lancé les personnages de son récit dans une situation des plus compliquées, il éprouvait quelque embarras à les tirer de ce dédale. Darwin l'interrompant :

— Est-ce que par hasard, monsieur Watt, vous nous raconteriez une histoire de votre cru ?

Watt s'arrêta, et regardant son interlocuteur avec le plus grand sérieux :

— Votre question, monsieur Darwin, m'étonne au dernier point. Depuis vingt ans que j'ai le plaisir de passer mes soirées avec vous, est-ce que je fais autre chose ? Est-il donc possible qu'on ait voulu faire de moi un émule de Robertson ou de

Hume, lorsque toutes mes prétentions se bornaient à marcher sur les traces de la princesse Scheherazade (1).

Ces heureuses réunions sur lesquelles l'esprit aimable et les grâces enjonées du vieillard savaient répandre tant de charmes, étaient encore animées par la présence de la femme distinguée à laquelle il avait donné son nom. James Watt s'était décidé, après quelques années de veuvage, à épouser la fille d'un fabricant du comté. Les goûts éclairés, le jugement solide et les connaissances sérieuses de mademoiselle Mac-Gregor, avaient surtout contribué à fixer son choix. Les premières relations s'étaient établies autour d'une table à thé, dans l'une des soirées de Watt. On avait parlé de Shakspeare et de Racine, et Watt avait défendu l'auteur de *Macbeth* contre le poëte d'*Athalie* prôné par mademoiselle Mac-Gregor. La discussion

(1) Ce talent singulier de conteur d'histoires faites à plaisir s'était manifesté chez James Watt dès les premières années de son enfance. Arago, dans son *Éloge historique*, en cite une preuve assez piquante : « L'esprit anecdotique que notre confrère, dit Arago, répandit avec tant de grâce, pendant plus d'un demi-siècle, parmi tous ceux dont il était entouré, se développa de très bonne heure. On en trouvera la preuve dans ces quelques lignes que j'extrais, en les traduisant, d'une note inédite rédigée en 1708 par madame Marion Campbell, cousine et compagne d'enfance du célèbre ingénieur :

« Dans un voyage à Glascow, madame Watt confia son jeune fils James » à une de ses amies. Peu de semaines après, elle revint le voir, mais » sans se douter assurément de la singulière réception qui l'attendait. » — Madame, lui dit cette amie dès qu'elle l'aperçut, il faut vous hâter » de ramener James à Glascow, je ne puis endurer l'état d'excitation » dans lequel il me met ; je suis harassée par le manque de sommeil. » Chaque nuit, quand l'heure ordinaire du coucher de ma famille ap- » proche, votre fils parvient adroitement à soulever quelque discussion » dans laquelle il trouve toujours moyen d'introduire un conte qui, au » besoin, en enfante d'autres. Ces contes pathétiques ou burlesques ont » tant de charme, tant d'intérêt, ma famille tout entière les écoute avec » une si grande attention, qu'on entendrait une mouche voler. Les » heures ainsi succèdent aux heures sans que nous nous en apercevions ; » mais le lendemain je tombe de fatigue. Madame, ramenez, ramenez » votre fils chez vous. »

amena un échange de lettres, et le mariage s'ensuivit. Les précieuses qualités de madame Watt rendaient sa maison doublement chère à ses amis : nulle part, en effet, la science du bon accueil n'était mieux entendue.

La littérature et les événements du jour n'étaient pas cependant la seule matière des entretiens. Comme on le pense, la science avait son tour, et la chère mécanique n'était pas oubliée. Le génie fertile de Watt y trouvait quelquefois de soudaines occasions de s'exercer avec profit. Un jour Darwin entrant chez lui :

— Je viens d'imaginer, dit-il, certaine plume à deux becs, à l'aide de laquelle on écrira chaque chose deux fois, et qui donnera ainsi d'un seul coup l'original et la copie d'une lettre.

— J'espère trouver une meilleure solution, répliqua James Watt : j'y penserai ce soir, et je vous communiquerai demain le résultat de mes réflexions.

Le lendemain la presse à copier les lettres était inventée.

C'est de cette manière qu'il imagina la curieuse machine qui permet d'obtenir, par des moyens très simples, la reproduction d'une statue, d'un bas-relief ou d'un buste. Cette invention intéressante fut réalisée dans les dernières années de James Watt. Il en distribuait les produits à ses amis, en les priant d'accepter « cette œuvre d'un jeune artiste qui ne fait que d'entrer dans sa quatre-vingt-troisième année. »

Ainsi le feu de son heureux génie, qui s'était fait jour dès les premiers instants de sa jeunesse, brillait encore aux derniers temps de sa vie. Il faut connaître, pour ne point s'en étonner, le caractère et les qualités spéciales de l'esprit de James Watt. Le célèbre ingénieur avait reçu en partage le don rare et précieux de l'imagination. C'est par une vue très fausse et très mal justifiée que l'on s'accorde généralement à resserrer le rôle de l'imagination dans le domaine exclusif des lettres et des beaux-arts. Cette heureuse faculté préside plus qu'on ne

le pense aux créations scientifiques. Pour se lancer, dans les hautes régions de la science, à la recherche de l'inconnu ; pour marcher, par des sentiers nouveaux, vers ces horizons voilés que l'avenir nous dérobe, il faut souvent suivre des yeux l'étoile inspiratrice qui brille au firmament des poëtes. C'est en s'écartant des règles établies, en s'élançant, par une vue souveraine, hors du cercle étroit des opinions communes, qu'un homme supérieur s'élève aux grandes conceptions qui immortalisent son génie. Watt en fournirait au besoin un éclatant exemple. Il avait reçu de la nature la faculté de l'imagination, et il eut la fortune de préserver ce don brillant du dangereux contact de l'éducation des écoles. Son humble origine, les modestes occupations de sa jeunesse, eurent pour résultat d'éloigner de son esprit les règles absolues et les tranchantes formules de l'enseignement classique. S'il eût pris sa part de l'instruction banale qui se débitait à l'université d'Oxford, il serait devenu sans doute un professeur érudit; livré à lui-même, il devint le premier mécanicien de son temps. Il est reconnu que Watt n'avait aucune de ces connaissances obligées et communes qui font le mathématicien savant; on assure qu'il n'avait jamais résolu une équation d'algèbre; comme Ferguson, il se contentait de l'emploi des procédés géométriques, et c'était même son amusement favori de représenter par des figures de géométrie les tables numériques qu'il avait besoin de consulter pour établir les proportions de ses machines. Les traités de mécanique étaient le seul genre d'ouvrages dont il se refusât la lecture : on aurait dit que son intelligence avait besoin d'être affranchie de tout joug étranger. Il ne communiquait ses idées à personne, et quand il avait imaginé quelque appareil nouveau, c'est à peine s'il s'occupait d'en surveiller l'exécution ou de prendre des avis, comme s'il avait eu la conviction secrète que son esprit n'avait jamais plus de puissance que quand il était entièrement livré à lui-même. Les idées sortaient de son esprit comme

pousse l'herbe des champs sur un terrain vigoureux. On lui demandait un jour si la découverte du parallélogramme articulé lui avait coûté beaucoup de calculs et d'efforts de tête : « Non, répondit-il, et j'ai même été très surpris de la perfection de son jeu. En le voyant fonctionner pour la première fois, j'éprouvais autant de plaisir que si j'avais examiné l'invention d'une autre personne. » Il a dit de lui-même, en donnant le récit de ses découvertes relatives au perfectionnement de la machine de Newcomen : « L'idée une fois conçue d'opérer la condensation hors du cylindre, toutes les autres améliorations s'effectuèrent avec une incroyable rapidité ; tellement que, dans l'espace d'un ou deux jours, mon plan fut parfaitement arrangé dans ma tête, et que, pour en faire l'essai, je le mis tout de suite à exécution. » Aussi avait-il l'habitude de considérer toutes ses inventions comme le résultat de pensées tellement simples, qu'elles auraient pu se présenter à tout autre qu'à lui ; il ajoutait qu'il avait été seulement assez heureux pour les soumettre le premier à l'expérience. Et cette déclaration était sincère de tout point.

Cette organisation intellectuelle si remarquable permettait à James Watt de s'occuper avec succès d'objets dont il n'avait aucune idée. Pendant qu'il résidait à Glascow, Darwin vint un jour le prier de lui fabriquer un orgue.

— Comment voulez-vous que je vous construise un orgue? répondit Watt. J'ai la musique en horreur, et tous les instruments me sont étrangers. Je ne puis distinguer deux sons : l'une de mes oreilles est en *ut* et l'autre en *fa*.

— Bah! essayez. Vous pouvez tout ce que vous voulez : vous êtes le dieu de la mécanique.

Watt essaya. Il n'avait à sa disposition que l'ouvrage très confus du docteur Robert Smith, de Cambridge. Cependant l'orgue fut construit, et ses qualités harmoniques charmaient jusqu'aux musiciens de profession. Il réalisa le tempérament

des diverses notes d'après la seule connaissance du phénomène physique des battements qu'il avait ignoré jusque-là, et dont il trouva l'exposition dans le traité obscur de Robert Smith.

Cette organisation extraordinaire de James Watt, le développement vraiment prodigieux de ses facultés, pourraient nous sembler aujourd'hui douteux, si quelques-uns de ses contemporains n'avaient pris soin d'en fournir des témoignages irrécusables. Son élève Playfair a dit : « L'esprit de James Watt pouvait être comparé à une encyclopédie qui, dans quelque endroit qu'on l'ouvrît, offrait à votre curiosité ou quelque fait nouveau, ou le développement d'une vérité, ou la découverte de quelque rapport. » Walter Scott, dans sa préface du *Monastère*, s'exprime en ces termes au sujet du célèbre ingénieur :

« Watt n'était pas seulement le savant le plus profond, celui qui, avec le plus de succès, avait tiré de certaines combinaisons de nombres et de forces des applications nouvelles ; il n'occupait pas seulement un des premiers rangs parmi ceux qui se font remarquer par la généralité de leur instruction; il était encore le meilleur, le plus aimable des hommes. La seule fois que je l'aie rencontré, il était entouré d'une petite réunion de littérateurs du Nord. Là je vis et j'entendis ce que je ne verrai et n'entendrai plus jamais. Dans la quatre-vingt-unième année de son âge, le vieillard, alerte, aimable, bienveillant, prenait un vif intérêt à toutes les questions : sa science était à la disposition de qui la réclamait. Il répandait les trésors de ses talents et de son imagination sur tous les objets. Parmi les *gentlemen* se trouvait un profond philologue ; Watt discuta avec lui sur l'origine de l'alphabet comme s'il avait été le contemporain de Cadmus. Un célèbre critique s'étant mis de la partie, vous eussiez dit que le vieillard avait consacré sa vie tout entière à l'étude des belles-lettres et de l'économie politique. Il serait superflu de mentionner les sciences : c'était sa *carrière* brillante et spéciale. Cependant, quand il parla avec notre compatriote Jedediah Cleishbotham, vous auriez juré qu'il avait été le contemporain de Claverhouse et de Burley, des persécuteurs et des persécutés ; il avait fait, en vérité, le dénom-

brement exact des coups de fusil que les dragons tirèrent sur les covenantaires fugitifs. Nous découvrîmes enfin qu'aucun roman du plus léger renom ne lui avait échappé, et que la passion de l'illustre savant pour ce genre d'ouvrages était aussi vive que celle qu'ils inspirent aux jeunes modistes de dix-huit ans. »

Enfin, Arago nous fournit ce curieux témoignage sur les facultés intellectuelles de James Watt.

« La santé de Watt s'était fortifiée avec l'âge. Ses facultés intellectuelles conservèrent toute leur puissance jusqu'au dernier moment. Notre confrère crut une fois qu'elles déclinaient, et fidèle à la pensée qu'exprimait le cachet dont il avait fait choix (un œil entouré du mot *observare*), il se décida à éclaircir ses doutes en s'observant lui-même, et le voilà, plus que septuagénaire, cherchant sur quel genre d'étude il pourrait s'essayer, et se désolant de ne trouver aucun sujet sur lequel son esprit ne se fût déjà exercé. Il se rappelle enfin qu'il existe une langue anglo-saxonne, que cette langue est difficile; et l'anglo-saxon devient le moyen expérimental désiré, et la facilité qu'il trouve à s'en rendre maître lui montre le peu de fondement de ses appréhensions (1). »

C'est ainsi que l'illustre mécanicien, conservant jusqu'à ses derniers jours l'entier usage de ses étonnantes facultés, vieillissait entouré des affections de sa famille, jouissant d'un repos noblement acquis pendant le cours de sa vie laborieuse, recevant avec un orgueil légitime les hommages que ses concitoyens rendaient à ses vertus et à son génie. Dans l'été de l'année 1819, quelques symptômes alarmants annoncèrent sa fin prochaine. Il ne se méprit pas à la nature de son mal, et dès ce moment il ne fut occupé que du soin de consoler ses amis. Il remerciait la Providence de tous les bienfaits versés sur ses longs jours; il exprimait sa gratitude profonde pour

(1) *Éloge historique de James Watt*, p. 371.

les services qu'il lui avait été donné de rendre à sa patrie, pour la sérénité et le calme qui avaient embelli le doux soir de sa vie. Le noble vieillard s'éteignit le 25 août 1819.

Watt fut enterré dans l'église paroissiale de Heathfield. Son fils, M. James Watt, fit ériger sur sa tombe un monument gothique au centre duquel s'élève une statue de marbre due au ciseau de Chantrey. Une seconde statue du même artiste a été placée par M. Watt fils, dans l'une des salles de l'université célèbre qui protégea l'illustre mécanicien aux jours difficiles de sa jeunesse. Mais le peuple anglais sait trop dignement glorifier ses morts illustres pour avoir laissé à la piété filiale le soin d'honorer seule la mémoire de ce grand citoyen. Une statue colossale de bronze, dressée sur un piédestal de granit, a été élevée à Watt sur l'une des places de Glascow. En outre, les habitants de Greenock, sa ville natale, ont placé, à leurs frais, une belle statue de marbre dans la bibliothèque de la ville. La haute reconnaissance de la nation ne devait pas s'en tenir au tribut isolé des compatriotes de James Watt. L'abbaye de Westminster possède aujourd'hui un monument digne de son génie. Le projet en fut arrêté dans une réunion de souscripteurs composée de tout ce que le commerce, la science et l'industrie de Londres comptaient de plus distingué. Le roi figurait le premier sur la liste des souscripteurs. L'inauguration du monument de Westminster eut lieu dans une séance solennelle, au milieu d'une réunion des plus imposantes, où se trouvaient un grand nombre de pairs d'Angleterre et les membres les plus éminents de la chambre des communes, sous la présidence du premier ministre lord Liverpool. Ce monument consiste en une admirable statue de marbre, l'un des plus beaux ouvrages de Chantrey, qui reproduit avec une fidélité remarquable la physionomie calme et méditative du grand inventeur; les ornements et les emblèmes qui le décorent sont du plus majestueux effet. L'Angleterre a voulu, par ce

magnifique hommage, consacrer dignement la gloire de l'un des plus grands hommes qu'elle ait produits.

Mais que peuvent pour de tels génies ces somptueux témoignages de l'admiration du monde! Ni l'airain ni le marbre ne sont nécessaires pour consacrer leur mémoire. Les services que James Watt a rendus à sa patrie, à l'Europe, à l'humanité tout entière, suffisent pour perpétuer son nom. La machine qu'il a créée a été l'origine et la cause du bien-être général dont jouit la société moderne. Multipliant dans une proportion extraordinaire la somme du travail public, elle a couvert le sol des nations libérales de ces milliers de travailleurs, dociles autant qu'infatigables, qui dorment à nos pieds sous la forme d'un bloc de charbon, et qui, sur un geste, sur un signe de nous, s'éveillent pour nous offrir leurs bras de fer et leurs muscles d'acier. C'est par le secours de ces légions paisibles que des améliorations incalculables ont été introduites en quelques années dans le sort et les conditions d'existence des classes pauvres. Les produits du luxe utile mis à la disposition de tous, l'existence rendue plus douce et plus facile, la vie intellectuelle agrandie dans tous les esprits, tels sont les immortels résultats des découvertes et des travaux de James Watt. Les bienfaits que son génie a versés sur le monde, voilà la véritable, voilà l'impérissable statue qui perpétuera sa mémoire, et qui fera vivre à jamais son nom dans le cœur des générations présentes et de la postérité.

CHAPITRE X.

Description générale de la machine à vapeur. — Machine à condenseur. — Machine sans condenseur. — Machines à détente et sans détente. — Différents organes des machines à vapeur en général. — Chaudières. — Soupape de sûreté. — Flotteur. — Manomètre, etc.

Dans l'exposition des découvertes scientifiques, la méthode historique nous semble constituer le mode qui permet le plus aisément d'atteindre à la clarté. Mais on ne peut prétendre à obtenir ainsi un résultat complet qu'à la condition de présenter, après les considérations historiques, un exposé descriptif résumant l'état actuel de la découverte que l'on étudie. Il nous reste donc à faire connaître les différentes dispositions en usage de nos jours pour appliquer à l'industrie la puissance mécanique de la vapeur d'eau.

On distingue communément les machines à vapeur en *machines à basse pression* et *machines à haute pression*. Cependant il est plus conforme aux faits de les distinguer en *machines à condenseur* et *machines sans condenseur*. Établissons la différence qui sépare ces deux systèmes.

Les *machines à condenseur*, les premières que l'on ait construites, et les seules dont Watt ait fait usage, sont ainsi nommées parce que la vapeur, quand elle a produit son effet mécanique, s'y trouve condensée par l'eau froide. On a continué de les désigner sous le nom de machine à *basse pression*, parce que la vapeur n'y est ordinairement employée qu'à une pression médiocre, qui va d'une atmosphère et demie à deux atmosphères.

La *machine sans condenseur* est celle dans laquelle la vapeur

se trouve rejetée librement dans l'air dès qu'elle a produit son effet. Voici les principes sur lesquels repose son mécanisme.

Dans la machine de Watt, ou machine à condenseur, on emploie de la vapeur chauffée seulement à la température de l'ébullition de l'eau sous une pression qui ne dépasse pas beaucoup celle de l'atmosphère. La condensation alternative de cette vapeur sous les deux faces du piston détermine un vide qui permet à la vapeur de produire toute son action mécanique. Mais on peut aussi construire des machines réalisant de très puissants effets, sans qu'il soit nécessaire d'y condenser la vapeur. Il suffit, pour obtenir ce résultat, de communiquer à la vapeur une tension supérieure à celle de l'atmosphère (1). En effet, si le piston est pressé sur ses deux faces par de la vapeur dont la force élastique dépasse de beaucoup la pression de l'atmosphère, il suffira de chasser dans l'air la vapeur qui se trouve au-dessous du piston, pour que celui-ci s'abaisse aussitôt dans le cylindre. Quand le cylindre est rempli de vapeur d'eau présentant une force élastique supérieure à celle de l'atmosphère, et que ses deux capacités, supérieure et inférieure, communiquent entre elles, le piston est soumis sur ses deux faces à la même pression ; il reste donc immobile. Mais si tout d'un coup on vient à donner issue à la vapeur qui remplissait, par exemple, la capacité inférieure du cylindre, en ouvrant un robinet qui la fasse écouler dans l'air, la pression qui s'exerce sur la tête du piston n'étant plus exactement contre-balancée au-dessous,

(1) Pour obtenir de la vapeur à haute pression, on chauffe très fortement l'eau de la chaudière. L'ouvrier reconnaît, en examinant le manomètre, le moment où la vapeur a atteint le degré de pression qu'il désire communiquer à la vapeur, et ce terme une fois atteint, il ouvre le robinet qui lui donne accès dans le cylindre ; la machine commence alors à fonctionner. Pendant la marche de la machine, le chauffeur doit toujours observer la hauteur du manomètre, pour s'assurer si la chaleur du foyer est suffisante pour entretenir la vapeur au même degré de tension.

précipite nécessairement le piston jusqu'au bas de sa course. Admettons, par exemple, que le cylindre soit rempli de vapeur à la tension de trois atmosphères, si l'on chasse dans l'air la vapeur qui se trouve au-dessous du piston, la capacité inférieure du cylindre, communiquant dès lors librement avec l'air extérieur, n'opposera plus à la vapeur une résistance capable de le maintenir en équilibre, et le piston sera poussé au bas de sa course en raison de la différence des pressions qu'il supporte sur ses deux faces. Le poids que supporte la tête du piston est représenté par trois atmosphères, la pression qui le sollicite au-dessous est seulement d'une atmosphère, attendu que ce n'est pas autre chose que la pression même de l'air; par conséquent le piston doit s'abaisser dans le cylindre en vertu de la différence des deux pressions, c'est-à-dire par une pression de deux atmosphères. Si maintenant on fait écouler dans l'air la vapeur à haute pression qui remplit la partie supérieure du cylindre, et qu'en même temps on dirige au-dessous du piston de nouvelle vapeur à trois atmosphères envoyée par la chaudière, le piston sera soulevé, puisque la vapeur qui se trouve contenue dans la partie supérieure du cylindre est en communication avec l'air extérieur. Ainsi, en dirigeant alternativement de la vapeur à haute pression au-dessus et au-dessous du piston, et mettant chaque fois l'une des extrémités du cylindre en communication avec l'air, on obtiendra un mouvement continu du piston, et l'on pourra se passer de condenser la vapeur. Tel est le principe des machines à haute pression, que le mécanicien Leupold proposa le premier, vers 1725, mais qui n'ont été appliquées à l'industrie qu'à la fin du dernier siècle par le constructeur américain Olivier Evans.

Quelles sont les raisons qui peuvent motiver, dans une usine, le choix d'une machine à vapeur à haute ou à basse pression ? Si l'on dispose d'une quantité d'eau assez abondante pour fournir aux besoins de la condensation, il y a avantage à adopter la

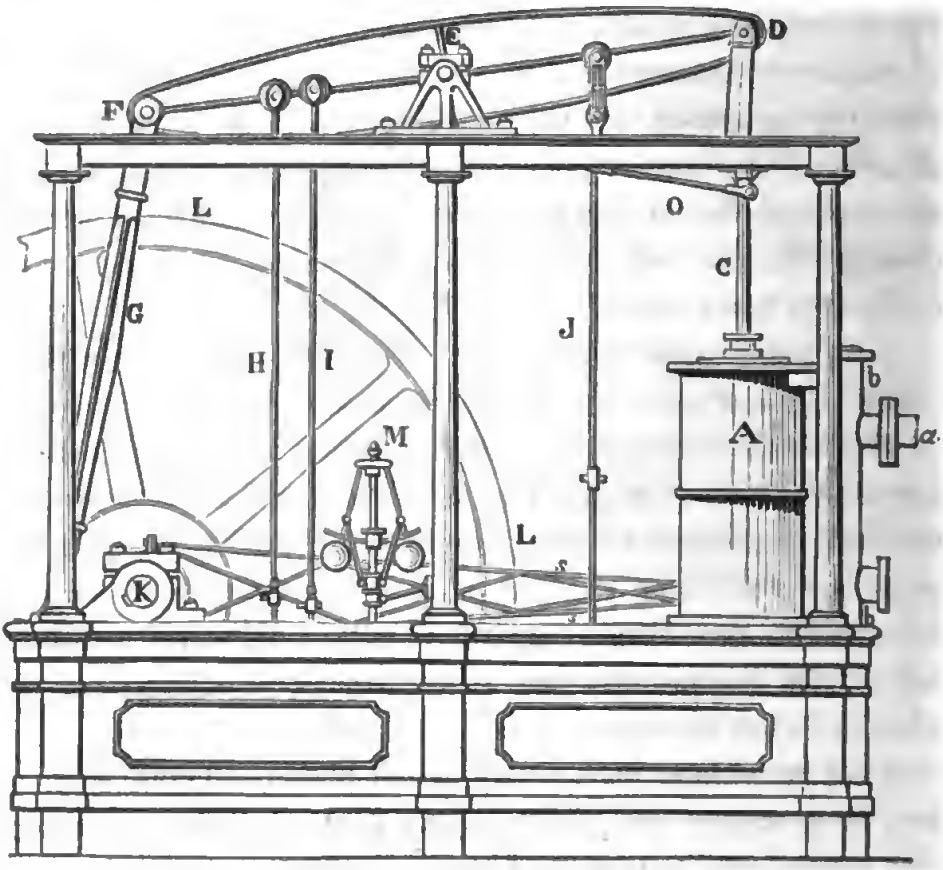
machine à condenseur ; il suffit de donner à la surface du piston des dimensions convenables pour obtenir des machines réalisant tout l'effort nécessaire, et dans lesquelles la vapeur agit toujours à basse pression, c'est-à-dire à une atmosphère ou une atmosphère et demie. Mais si l'on ne peut se procurer facilement la quantité d'eau qui est nécessaire à la condensation, on est forcé d'employer des machines à haute pression qui marchent sans condenseur. Ajoutons que la machine à basse pression occupe une place considérable; au contraire la machine à haute pression, qui ne se compose guère que d'un cylindre et d'une bielle, ne demande qu'un emplacement médiocre : dans un grand nombre de cas cette circonstance détermine le choix de la machine à haute pression.

Examinons maintenant les détails du mécanisme de la machine à vapeur selon qu'elle marche avec ou sans condenseur.

Machine à condenseur. — La machine à vapeur à basse pression et à condenseur, c'est-à-dire la machine communément désignée sous le nom de *machine de Watt*, ne se compose que d'éléments qui ont été précédemment analysés ; il nous suffira donc d'une légende ajoutée à la figure suivante pour faire comprendre son mécanisme et la destination de chacun de ses organes.

A est le cylindre dans lequel joue le piston par suite de l'effort de la vapeur qui s'y introduit à l'aide du tube *a;* l'appareil connu sous le nom de *tiroir* est représenté par les lettres *b*, *b;* il est destiné à faire passer la vapeur arrivant de la chaudière, tantôt au-dessus, tantôt au-dessous du piston, et en même temps à faire communiquer le condenseur, tantôt avec la partie supérieure, tantôt avec la partie inférieure du cylindre. Ce tiroir se compose d'une plaque métallique mobile jouant à l'intérieur de la capacité *b*, *b*, et mise en mouvement par l'arbre K de la machine, à l'aide de deux tringles *s*, *s*, convergeant l'une vers l'autre, qui mettent en mouvement un

petit mécanisme connu sous le nom d'*excentrique*. En se déplaçant ainsi à l'intérieur de la capacité *b*, *b*, cette plaque a pour effet de fermer et d'ouvrir successivement une communication qui existe entre la partie supérieure et la partie inférieure du cylindre; selon que cette ouverture est ouverte ou



fermée, la vapeur peut s'introduire au-dessous ou au-dessus de la tête du piston.

C représente la tige du piston; au moyen du parallélogramme articulé O, cette tige transmet son mouvement au balancier de manière à lui imprimer un mouvement de va-et-vient autour de son axe E. A l'extrémité F du balancier est attachée une bielle ou tige G, qui vient s'articuler avec le bouton de la manivelle fixée à l'extrémité de l'arbre K, pour

communiquer à cet arbre un mouvement de rotation. L, L est une roue ou volant destiné à prévenir les irrégularités d'action du balancier, en répartissant les inégalités de son mouvement sur une grande masse placée à une certaine distance de l'axe de l'arbre. M est le régulateur à force centrifuge; lié par une courroie à l'arbre de la machine, il est destiné à régler l'entrée de la vapeur dans le cylindre, et à imprimer au mouvement une marche uniforme.

Le condenseur qui se trouve caché dans le dessin qui précède est disposé immédiatement au-dessous du cylindre. C'est une capacité, communiquant par un tube avec le cylindre, et qui se trouve incessamment parcourue par un courant d'eau froide destinée à produire la condensation de la vapeur. L'eau qui doit servir aux besoins de cette condensation est empruntée à une source ou à un cours d'eau voisin à l'aide d'une pompe aspirante et foulante. Cette pompe est mise en action par une tige que l'on a représentée sur la figure par la lettre I; cette tige, reliée au balancier de la machine, lui emprunte son mouvement.

La capacité du condenseur se trouverait bientôt remplie d'eau, si une pompe ne l'extrayait à mesure qu'elle s'y accumule : tel est l'objet que remplit la pompe dont la tige est représentée sur la figure précédente par la lettre J. On la désigne communément sous le nom de *pompe à air*, parce qu'en même temps qu'elle extrait l'eau qui remplit le condenseur, elle en retire aussi l'air qui se dégage de l'eau froide lorsqu'elle arrive dans la capacité du condenseur où le vide existe partiellement.

L'eau chaude extraite du condenseur par la pompe à air se rend dans un réservoir d'où elle s'échappe hors de l'usine à l'aide d'un trop-plein. Cependant cette eau n'est pas rejetée tout entière ; une petite partie en est aspirée par une pompe nommée *pompe alimentaire*, qui la refoule dans la chaudière,

pour remplacer celle qui a disparu sous forme de vapeurs. La tige de la pompe alimentaire est indiquée sur la figure précédente par la lettre H. On voit que, comme la pompe à air, elle est mise en action par le balancier de la machine auquel elle se trouve liée.

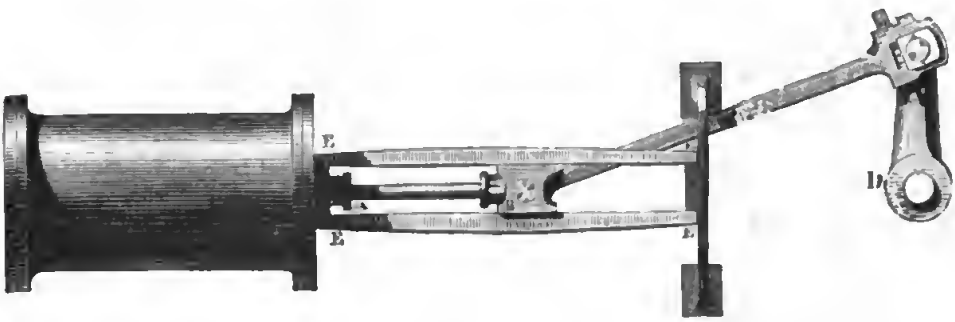
Telle est, réduite à ses éléments les plus simples, la machine à basse pression et à condenseur, ou *machine de Watt*. Elle est surtout d'un grand usage en Angleterre; en France, elle est un peu moins employée. C'est, avec quelques modifications, le genre de machines qui, comme nous le verrons, est le plus généralement adopté sur les bateaux à vapeur.

Dans les machines à basse pression, construites depuis quelques années, on fait usage de l'artifice de la détente, qui, d'après les principes indiqués plus haut, diminue notablement la consommation du combustible. Comme l'addition de la détente ne change rien à l'ensemble du mécanisme, il serait inutile d'en donner une description particulière; toute la différence consiste dans la disposition du tiroir qui ne laisse entrer la vapeur dans le cylindre que pendant la moitié, le tiers, le cinquième, etc., de la course du piston, de telle sorte que la détente de la vapeur, c'est-à-dire sa dilatation dans le vide, agisse seule sur le piston pendant tout le reste de sa course. La plupart des machines actuelles sont construites de manière que le mécanicien puisse à volonté établir ou suspendre la détente; elles permettent même de donner à la vapeur le degré de détente que l'on juge nécessaire d'employer.

Machines sans condenseur. — Dans ce second ordre de machines, d'un mécanisme plus simple, la vapeur, après avoir agi sur le piston, s'échappe dans l'air. Comme une grande quantité de vapeur est ainsi perdue, on comprend qu'elles exigent plus de combustible que les machines à basse pression. On les préfère cependant, dans bien des cas, à la machine de Watt, en raison de la simplicité de leur mécanisme, qui per-

met aux constructeurs de les livrer à un prix bien inférieur. La machine à vapeur à haute pression, ne comportant ni condenseur ni pompe à air, est adoptée dans un grand nombre d'industries ; elle est d'une adoption forcée dans les lieux où il est impossible de se procurer la quantité d'eau nécessaire à la condensation, ou quand on ne peut disposer que d'un emplacement exigu.

Dans la machine à haute pression, on supprime presque toujours le balancier. On se contente de réunir l'extrémité de la tige du piston à une bielle, comme on le voit dans la figure ci-dessous. Seulement, comme la tige A du piston a besoin d'être guidée dans son mouvement pour ne pas être faussée

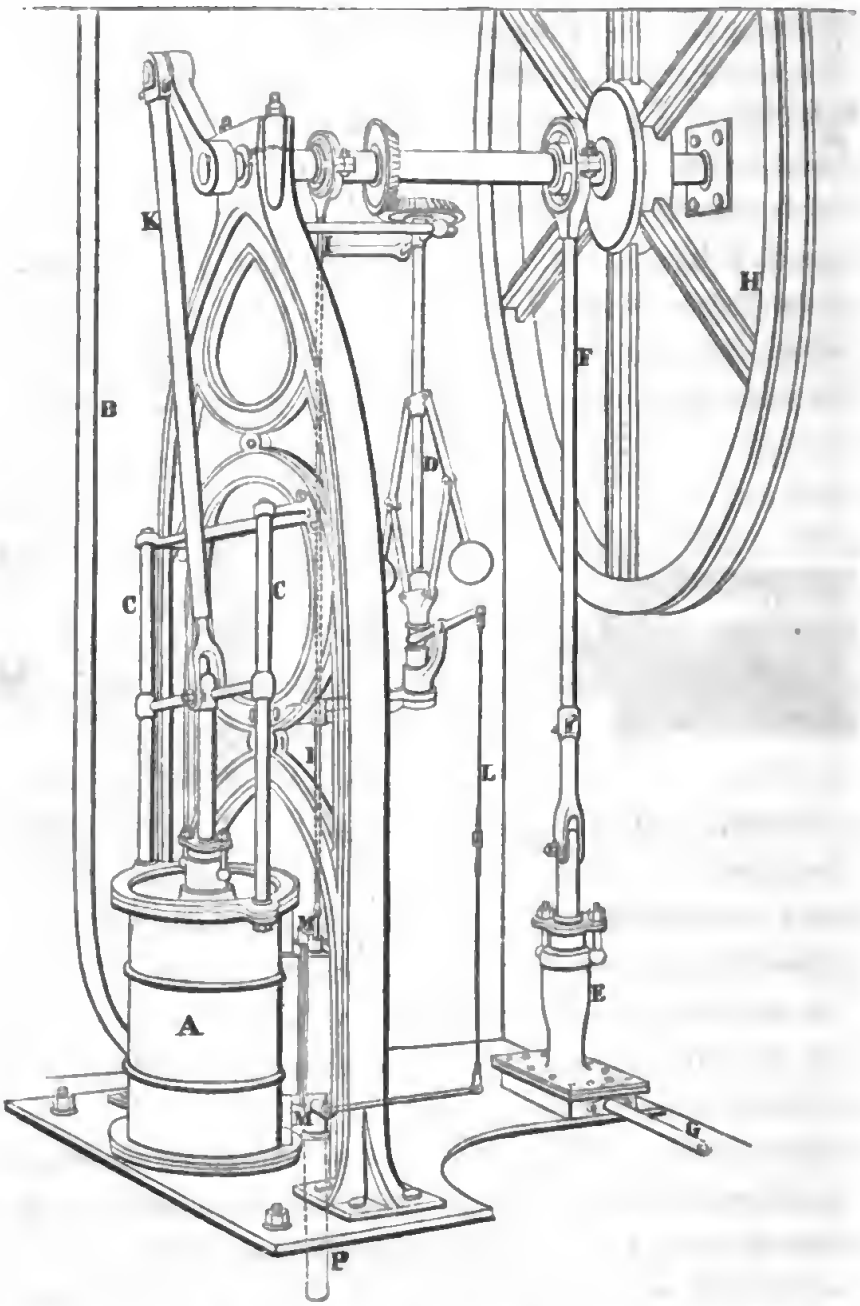


par la résistance oblique qu'elle éprouve de la part de la bielle, on fait rouler son extrémité B entre deux coulisses EE, de manière à la maintenir constamment en ligne droite malgré les mouvements d'élévation et d'abaissement de la bielle. Par son libre mouvement dans l'espace EE, la tige BC met en action la manivelle CD, et imprime ainsi directement à l'arbre D un mouvement continu de rotation.

Les principes sur lesquels repose le jeu de la machine à haute pression ayant été exposés plus haut, la figure suivante permettra de saisir tous les détails de son mécanisme.

A, est le cylindre ou corps de pompe de la machine. Amenée de la chaudière dans ce cylindre à l'aide du tuyau P, la vapeur vient y exercer sa pression sur les deux faces du piston, et une

fois l'effet produit, se dégage dans l'air à l'aide d'un long tuyau de cuivre B qui la fait perdre hors de l'usine. C, C, sont deux



tiges directrices verticales qui servent à guider dans son mouvement la tige du piston. K, est une seconde tige, ou bielle, qui,

pourvue d'une articulation mobile à chacune de ses extrémités, transmet à la manivelle adaptée à l'arbre de la machine le mouvement du piston, et imprime à cet arbre un mouvement de rotation continu. I, est une tige métallique qui fait marcher le tiroir MM ; par suite du déplacement de la plaque mobile qui parcourt l'intérieur de ce tiroir, la vapeur trouve accès tantôt au-dessus, tantôt au-dessous de la tête du piston. Cette tige est mise en mouvement par l'arbre de la machine auquel elle est rattachée. D, est le régulateur de Watt à force centrifuge ; à l'aide de la tige L et du levier coudé qui lui fait suite, il régularise l'entrée de la vapeur dans le cylindre en dilatant ou rétrécissant l'orifice qui donne accès à la vapeur. F, est la tige qui met en action la pompe alimentaire E, destinée à remplacer l'eau de la chaudière à mesure que celle-ci disparaît en vapeurs. Cette tige, reliée à l'arbre de la machine, est mise en mouvement par lui, et fait agir la pompe E, qui, puisant de l'eau froide dans un réservoir situé au-dessous, la dirige, à l'aide du tube G, dans l'intérieur de la chaudière. Cette pompe alimentaire peut fonctionner constamment ou seulement d'une manière intermittente. Si le chauffeur veut suspendre son action, il lui suffit d'enlever la clavette mobile qui rattache les deux parties de la tige EF : le mouvement du piston de la pompe est ainsi suspendu, et la tige F fonctionne *à vide*, c'est-à-dire agit sans transmettre son mouvement à la pompe. Enfin, H, est la roue ou le volant de la machine, qui a pour fonction de régulariser son mouvement, parce qu'il le répartit sur une masse considérable éloignée de son centre d'action.

Tel est le type à peu près général de la machine à vapeur dite *sans condenseur* et à *haute pression*. Il faut ajouter seulement que l'on s'arrange toujours pour que la vapeur qui se perd dans l'atmosphère traverse le réservoir d'eau froide destiné à l'alimentation de la chaudière, afin de profiter d'une partie de chaleur emportée par cette vapeur. Le tuyau qui rejette la

vapeur hors de l'usine traverse donc l'eau d'alimentation et l'échauffe de telle manière, que lorsque cette dernière s'introduit dans la chaudière, elle jouit déjà d'une température assez élevée, ce qui économise une certaine partie du combustible. Cette disposition, fort simple à comprendre, n'a pas été représentée sur la figure, pour ne rien lui enlever de sa clarté.

La machine à haute pression est employée avec avantage toutes les fois que l'on n'a besoin que d'une force motrice d'une intensité médiocre. La régularité de son action, sa simplicité extrême, son prix peu élevé, lui font accorder la préférence dans beaucoup d'usines, sur la machine à condensation, d'un prix considérable, d'une installation souvent difficile, et qui exige un grand emplacement et une source d'eau abondante pour suffire aux besoins de la condensation.

Ce genre de machine à vapeur n'est d'un emploi réellement économique, relativement à la machine à basse pression, que quand on y fait agir la vapeur avec détente. Employée sans détente, elle est d'un médiocre effet et d'un usage dispendieux. Aussi tous nos mécaniciens ont-ils adopté ce nouveau mode d'emploi de la vapeur. Comme toute la différence entre les machines à détente et sans détente ne réside que dans la disposition des tiroirs, qui permet de fermer l'accès à la vapeur avant que le piston soit parvenu à l'extrémité de sa course, nous n'avons rien de particulier à ajouter sur le mécanisme des machines modifiées suivant ce mode.

Les deux systèmes qui viennent d'être décrits, c'est-à-dire les machines à haute pression et à basse pression, sont loin de s'exclure l'un l'autre. On les combine en effet avec avantage. On construit aujourd'hui, comme nous aurons occasion de le montrer dans le chapitre suivant, un grand nombre de machines qui marchent à haute pression et qui sont néanmoins munies d'un condenseur. Beaucoup de machines fixes employées dans les manufactures, plusieurs des machines à vapeur qui fonc-

tionnent à bord des bateaux de rivières, sont établies suivant ce double système (1).

Après avoir fait connaître les procédés généraux que l'on met en usage pour tirer partie de la force élastique de la vapeur, il nous reste à décrire les différents organes qui sont communs à tous les genres de machines à vapeur. Nous nous occuperons d'abord de la forme et des dispositions adoptées pour la construction des chaudières; nous passerons ensuite en revue les appareils de sûreté qui servent à indiquer l'état de la pression dans les machines et à prévenir ainsi leur explosion.

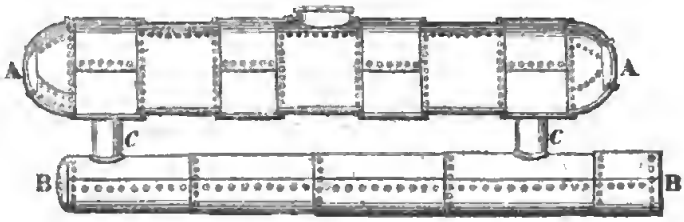
Chaudières. — Dans les premières machines à vapeur, dans celles de Savery et de Newcomen, on donnait à la chaudière une forme demi-sphérique. Comme à cette époque la crainte de l'explosion préoccupait avant tout, cette forme fut adoptée

(1) On a l'habitude d'évaluer en nombre de chevaux la puissance des machines à vapeur. Ce moyen de mesure a été employé pour la première fois par Thomas Savery. On a beaucoup varié sur la valeur de cette unité dynamométrique. Voici quelle est aujourd'hui sa signification précise. On dit qu'une machine à vapeur est de la force d'un cheval, lorsqu'elle est capable d'*élever un poids de 75 kilogrammes à 1 mètre de hauteur dans une seconde de temps*. Une machine à vapeur de dix chevaux, par exemple, est donc celle qui, dans une seconde, peut élever à 1 mètre de hauteur 750 kilogrammes, ou 75 kilogrammes à 10 mètres de hauteur. Il faut remarquer cependant que cette quantité de travail est bien supérieure à celle que peut produire un cheval, aussi ce mode d'évaluation est-il plutôt une convention qu'une comparaison fondée sur une appréciation exacte des forces naturelles. Un cheval attelé à un manége ne tire qu'avec un effort d'environ 45 kilogrammes en moyenne, en avançant de 90 centimètres par seconde, ce qui correspond à peu près à la moitié du travail d'un *cheval-vapeur* pour le même temps. En outre, comme un cheval ne peut travailler que huit heures sur vingt-quatre, on voit qu'il faut presque six chevaux à l'écurie pour représenter la puissance d'une machine à vapeur de la force d'un cheval marchant d'une manière non interrompue. C'est pour éviter toute confusion de ce genre que l'on emploie le terme de *cheval-vapeur* pour représenter l'unité dynamométrique des machines à vapeur.

comme offrant le plus de résistance à la pression de la vapeur. Mais plus tard, quand la crainte du danger s'affaiblit par l'habitude, lorsque l'expérience eut fait connaître la résistance précise offerte par un métal à une épaisseur donnée, on abandonna la forme sphérique qui, à volume égal, offre le moins de surface. Les chaudières de Watt, communément appelées *chaudières prismatiques* ou *à tombeau*, étaient concaves par le fond, cylindriques à la partie supérieure, et verticales sur les côtés. Watt avait adopté la forme concave pour la partie inférieure de ses chaudières, parce qu'il augmentait ainsi l'étendue de la surface soumise à l'action du feu. Ces sortes de chaudières sont encore employées aujourd'hui lorsque la tension de la vapeur ne doit pas dépasser deux atmosphères.

Mais des dispositions toutes différentes sont adoptées pour la construction des générateurs qui doivent fournir de la vapeur d'une tension considérable. La quantité de vapeur fournie par une chaudière ne dépend ni de sa capacité ni du volume d'eau qu'elle renferme, elle dépend seulement de l'étendue de la surface offerte à l'action du feu. On admet que 1 mètre carré de surface chauffée peut donner moyennement 40 kilogrammes de vapeur par heure; la forme de cette surface est d'ailleurs indifférente. D'après cela, pour produire rapidement une grande quantité de vapeur, il faudrait donner à la chaudière une longueur très considérable, afin qu'elle présentât à l'action du feu toute la surface nécessaire. C'est pour obvier à cette difficulté que l'on construit aujourd'hui les chaudières dites à *bouilleurs*, qui consistent en deux chaudières superposées, de grandeur inégale et communiquant entre elles par de gros tubes. Comme les *bouilleurs* reçoivent la première action du feu qui altère plus particulièrement le métal, on peut les changer à mesure qu'ils sont usés; la chaudière principale peut ainsi durer très longtemps. La figure qui suit représente une chaudière de cette espèce.

A, est le corps de la chaudière principale, B le bouilleur, CC les gros tubes qui établissent la communication entre ces deux capacités.



On donne aux chaudières une longueur qui est cinq à six, et quelquefois jusqu'à dix fois leur diamètre. L'expérience a montré que ce diamètre intérieur ne doit jamais dépasser 1 mètre. Lorsque la quantité de vapeur ainsi produite est insuffisante pour l'effet mécanique que l'on veut produire, au lieu d'augmenter le diamètre de la chaudière, on préfère en employer plusieurs. C'est, comme nous le verrons, le cas des bateaux à vapeur.

Les chaudières et les bouilleurs peuvent être construits en fonte, en cuivre ou en tôle. Appliquée à la construction des chaudières, la fonte ne donne que de mauvais résultats ; aussi l'usage des chaudières de ce genre est-il interdit à bord des bateaux, et l'on n'en construit même qu'un très petit nombre pour les machines destinées à fonctionner sur terre, car, par suite de la faible résistance de la fonte, on est obligé de leur donner beaucoup plus d'épaisseur qu'aux chaudières de tôle, et leur prix devient ainsi de fort peu inférieur à celui de ces dernières. Les chaudières de cuivre ont été longtemps employées par nos constructeurs, mais l'épaisseur qu'il faut donner au cuivre laminé, et qui est égale à celle que devrait avoir la chaudière si elle était de tôle et de fer, augmente de beaucoup leur prix : aussi ne sont-elles guère employées que lorsque les eaux d'alimentation sont très corrosives et détruiraient rapidement le fer. La tôle est donc à peu près, uniquement employée aujourd'hui pour

la construction des chaudières ; la grande ténacité du fer et le prix peu élevé de ce métal lui assurent, sous ce rapport, des avantages que rien ne peut contre-balancer, surtout lorsque les houilles sont peu sulfureuses, et ne sont pas, par conséquent, de nature à altérer le métal.

Lorsque l'eau a été entretenue pendant quelque temps en ébullition dans une chaudière, elle y dépose, par le fait de l'évaporation, un sédiment terreux. Les eaux dont on se sert pour alimenter les chaudières tiennent toujours en dissolution une quantité plus ou moins grande de sels, formés d'un mélange de sulfate de chaux et de carbonate de chaux ; par l'effet de la concentration, ces sels finissent par se déposer contre les parois de la chaudière. Or, la présence de cette croûte terreuse à l'intérieur du générateur offre des inconvénients de plus d'un genre. Comme par son interposition, elle empêche le contact immédiat de l'eau et du métal, elle retarde la transmission de la chaleur dont elle absorbe une partie à son profit ; elle peut en outre occasionner l'altération de la chaudière, parce que la partie qui se trouve ainsi recouverte s'échauffe à une température assez élevée pour déterminer l'oxydation du métal, et par conséquent sa destruction. Enfin, la présence de ces sédiments devient souvent la source d'un danger des plus graves, car elle peut aller au point de provoquer l'explosion de la machine. Lorsqu'en effet, cette sorte d'enveloppe pierreuse a fini par se former au fond d'une chaudière, il peut arriver que, par suite de la dilatation inégale que la croûte terreuse et le métal qu'elle recouvre éprouvent par l'action de la chaleur, cette croûte vienne subitement à se déchirer ; l'eau qui existe dans la chaudière se trouve dès lors mise subitement en contact avec une surface métallique chauffée à une température excessive, et il se forme aussitôt une quantité de vapeur tellement considérable, qu'elle peut déterminer une explosion. On était forcé autrefois de nettoyer le générateur tous les quinze à vingt jours afin d'enlever ces

dépôts terreux, mais comme ils adhéraient très fortement au métal, il fallait les attaquer avec des instruments d'acier, ce qui n'était pas sans nuire à la chaudière. Aujourd'hui, au lieu d'enlever ce sédiment une fois formé, on s'arrange pour prévenir sa production. Le moyen employé pour cela consiste à placer dans la chaudière différents corps étrangers, sur lesquels les sels calcaires viennent se déposer au lieu de s'attacher aux parois du métal. Tel est l'effet que produisent les raclures de pomme de terre ou le son, que, dans beaucoup d'usines, on mêle à l'eau du générateur. Cependant, comme ces corps ont l'inconvénient de faire mousser le liquide, qui quelquefois passe jusque dans l'intérieur des tubes, on se sert plus généralement aujourd'hui d'argile délayée dans l'eau, qui s'oppose à l'agrégation des dépôts terreux. Des fragments de verre, des rognures de fer-blanc, de tôle ou de zinc, par leur mouvement continuel au sein du liquide, et contre les parois du générateur, peuvent aussi prévenir les incrustations. Grâce à l'emploi de ces divers moyens, on empêche les sels terreux de se précipiter en couches continues et adhérentes, et l'on obtient un dépôt boueux qui n'adhère point à la chaudière : il suffit dès lors de vider celle-ci tous les quinze à vingt jours pour chasser l'eau vaseuse qui en occupe le fond.

Appareils de sûreté. — Les accidents nombreux et les malheurs auxquels ont donné lieu les explosions, autrefois trop fréquentes, des chaudières à vapeur, ont naturellement éveillé toute la sollicitude des mécaniciens. Les différents appareils de sûreté dont la loi impose sagement la nécessité à nos constructeurs constituent un des systèmes les plus importants de ces machines; nous les examinerons avec soin. Cependant avant d'indiquer les moyens efficaces que l'on oppose à l'explosion des chaudières, il est nécessaire de signaler les causes principales de ce redoutable phénomène.

Si l'épaisseur des parois du métal est insuffisante pour sup-

porter l'effort de la vapeur, on conçoit aisément que, cédant à la pression intérieure qu'elle éprouve, la chaudière se déchire dans une de ses parties, et donne tout d'un coup issue à la vapeur : de là une première cause d'explosion. Aussi l'ordonnance royale qui régit la construction et l'installation des machines à vapeur fixe-t-elle avec soin l'épaisseur à donner au métal d'une chaudière, selon les pressions qu'elle doit subir. Cependant l'explosion n'est presque jamais due à un défaut de résistance du métal. Dans le plus grand nombre des cas, elle provient de ce que quelques parties de la chaudière, accidentellement portées à une température excessive, se sont trouvées tout d'un coup en contact avec l'eau. Si, par exemple, le niveau intérieur de l'eau vient, par un défaut de surveillance, à baisser dans le générateur, de telle sorte que l'eau n'occupe que la moitié ou le tiers de la hauteur qu'elle doit y occuper, ces portions du métal, léchées par la flamme du foyer, peuvent s'échauffer au point de rougir, et si, par un accident quelconque, une certaine quantité d'eau vient alors à être projetée contre ces parois rougies, l'explosion de la chaudière est inévitable. Elle est inévitable pour deux motifs. Le premier tient à la formation subite d'une masse considérable de vapeur qui prend naissance par suite du contact de l'eau avec la partie surchauffée du métal ; cette masse de vapeur qui se forme brusquement, par la pression considérable qu'elle provoque tout d'un coup, produit sur la chaudière l'effet d'un violent coup de marteau et détermine sa rupture. En second lieu, le refroidissement presque instantané qu'éprouve le métal rougi amène, dans sa constitution physique, une modification moléculaire qui le rend beaucoup plus fragile et facilite sa déchirure.

L'explosion d'une machine à vapeur donne lieu à des phénomènes mécaniques extraordinaires dont la puissance serait difficile à expliquer, si l'on ne considérait que la seule action de la vapeur qui se trouve dans la chaudière au moment de sa rup-

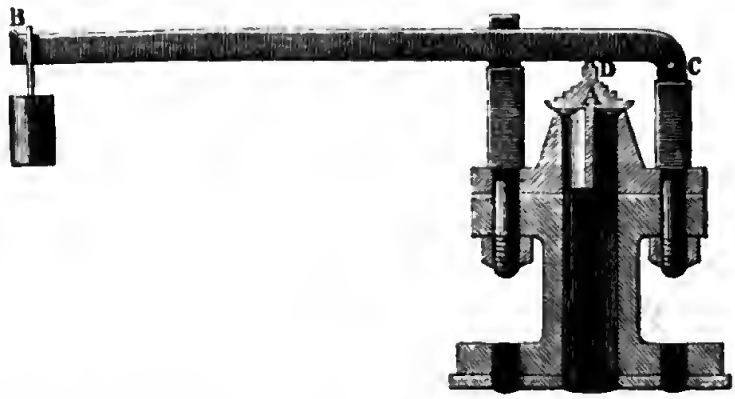
ture : des murs renversés, des poutres énormes projetées à des distances extraordinaires, la dévastation des usines, et toutes les scènes de destruction et de mort qui accompagnent ce terrible phénomène ne pourraient être déterminées par la seule expansion de la vapeur contenue dans la chaudière. Ce qui ajoute à cette première cause une source plus puissante et plus réelle de dangers, c'est la vaporisation subite de la majeure partie du liquide qui existe dans la chaudière au moment de l'explosion. Cette eau, chauffée à un degré bien supérieur à celui de l'ébullition, se trouvant tout d'un coup en contact avec l'atmosphère, se vaporise en grande partie d'une manière instantanée, et la quantité énorme de vapeur qui se trouve ainsi brusquement engendrée peut donner naissance à ces effets désastreux que l'on n'observait que trop souvent aux premiers temps de l'emploi des machines à vapeur.

Les appareils de sûreté qui servent à prévenir ces effrayants phénomènes sont de deux sortes. Les premiers sont destinés à se mettre à l'abri des pressions trop considérables que la vapeur pourrait acquérir : la *soupape de sûreté*, les *plaques fusibles*, le *manomètre*, remplissent ce premier objet. Les seconds sont destinés à régulariser l'alimentation de la chaudière, de telle sorte que l'eau se trouve toujours maintenue dans son intérieur à un niveau convenable.

La *soupape de sûreté* que Papin imagina en 1688, pour son digesteur, et que Désaguliers appliqua en 1717 à la machine de Savery, d'après la proposition de Papin, est un appareil admirable pour la simplicité et l'efficacité de son action. Il a pour but de prévenir l'explosion de la chaudière, en offrant une issue à la vapeur dès que la pression s'y élève au delà des limites auxquelles le métal pourrait résister. Le principe sur lequel repose le rôle préservateur de cet instrument est des plus simples. La vapeur contenue dans une chaudière exerce une pression égale sur tous les points de ses parois. Si donc, on pratique

sur un point quelconque de sa surface une ouverture circulaire, et qu'on ferme exactement cet orifice avec une plaque métallique mobile, cette plaque pourra être repoussée de bas en haut par l'action de la vapeur intérieure. Or, si l'on place sur cette plaque mobile un poids exactement équivalent à la pression que la chaudière éprouve lorsque la vapeur se trouve portée au degré de tension qu'elle ne doit jamais dépasser, cette plaque sera soulevée dès que la vapeur aura atteint ce degré de pression. Mais comme les poids employés pour comprimer la plaque seraient trop lourds ou d'un ajustement difficile, au lieu de les déposer simplement sur l'ouverture, on préfère agir sur la plaque par l'intermédiaire d'un levier du genre des romaines, qui permet, à l'aide d'un poids médiocre, de contre-balancer les plus fortes pressions.

La soupape de sûreté est représentée dans la figure ci-dessous. A, est la soupape qui ferme un tuyau vertical communi



quant avec la chaudière, et qui par conséquent ferme la chaudière elle-même. Elle est maintenue au moyen d'un levier BC, qui repose sur elle au point D, et qui est mobile au tour du point fixe C. Un poids est suspendu à l'extrémité B de ce levier ; ce poids a été calculé de manière à exercer sur la soupape une pression égale à celle qu'elle éprouverait de la part de la vapeur lorsque sa force élastique serait arrivée au terme qu'elle ne doit

jamais dépasser. Si la pression de la vapeur arrive accidentellement à ce degré, elle soulève la soupape, d s lors une partie de la vapeur s'échappe dans l'air, et la pression intérieure se trouve ramenée, dans l'intérieur de la chaudière, à ses limites normales; cette limite une fois atteinte, la soupape se referme et prévient ainsi une émission de vapeur devenue inutile.

Les dimensions de la soupape de sûreté sont fixées avec beaucoup de soin par les règlements d'administration, qui exigent que chaque chaudière à vapeur soit munie de deux appareils de ce genre.

La soupape à plaque mobile serait un appareil irréprochable par la commodité, la simplicité, la certitude de son action, si les ouvriers chargés de la conduite des machines ne pouvaient, avec une facilité désespérante, annuler ses avantages. On comprend, en effet, qu'il suffit d'augmenter le poids qui presse la soupape pour l'empêcher de s'ouvrir sous la pression calculée par le constructeur. Si, au poids de 10 kilogrammes, par exemple, que porte le levier, on ajoute un poids de 1 ou 2 kilogrammes, la vapeur ne pourra soulever la plaque mobile que lorsqu'elle aura gagné en puissance dans une proportion correspondante. C'est ce que ne font que trop souvent les ouvriers chargés de diriger les machines. Tout le monde a vu, sur un bateau à vapeur, le mécanicien, quand il veut obtenir une plus grande vitesse, attacher à l'extrémité du levier un marteau, un morceau de fer ou un poids; lorsque deux bateaux en concurrence se rencontrent faisant la même route sur une de nos rivières, c'est ainsi que débutent les mécaniciens en entamant la lutte. Pour mettre la soupape de sûreté à l'abri de la main des ouvriers, les règlements exigent que l'une des deux soupapes, dont la chaudière est munie, soit placée dans une boîte fermant à clef; mais cette utile prescription n'est pas toujours suivie.

Outre la soupape de Papin, les chaudières à vapeur sont quel-

quefois munies d'un appareil de sûreté fondé sur un principe tout différent : c'est la *plaque* ou *rondelle fusible.* La plaque fusible est un petit disque de métal qui bouche hermétiquement un trou pratiqué sur un point quelconque de la chaudière ; ce disque est composé d'un alliage d'étain, de bismuth et de plomb, dans des proportions telles qu'il puisse entrer en fusion dès qu'il se trouve soumis à un degré de température supérieur à celui que présente la vapeur quand elle a atteint la pression extrême que la chaudière peut supporter.

Le principe sur lequel repose l'emploi des rondelles fusibles est important à connaître. La pression qu'exerce la vapeur d'eau dépend de sa température, et les pressions qui correspondent aux différentes températures de la vapeur ont été déterminées expérimentalement de la manière la plus précise. D'après les tables de la force élastique de la vapeur d'eau dressées par les soins de l'Académie des sciences de Paris, on sait qu'à la température de 100 degrés, la force élastique de la vapeur équivaut au poids d'une atmosphère ; qu'une température de 112 degrés correspond à une force élastique d'une atmosphère et demie, une température de 122 degrés à deux atmosphères, une température de 145 degrés à quatre atmosphères, etc. D'après cela, la connaissance de la température de la vapeur contenue dans une chaudière doit suffire pour indiquer la force élastique dont jouit cette vapeur, ces deux termes étant liés entre eux d'une manière invariable. Si donc, on prépare, par le mélange de certains métaux, un alliage tel qu'il entre en fusion à la température que la vapeur ne doit jamais dépasser, et que l'on ferme, avec une plaque formée de cet alliage, un orifice pratiqué sur la chaudière, dès que la vapeur aura dépassé la pression normale assignée par le constructeur, la température de cette vapeur s'étant accrue d'une manière correspondante, déterminera la fusion de l'alliage : la chaudière se trouvera ainsi ouverte et offrira à la vapeur une libre issue.

Digitized by Google

Fondées sur des faits physiques d'une exactitude rigoureuse, les rondelles fusibles semblent offrir un moyen certain de prévenir l'explosion des chaudières. L'expérience a prouvé cependant qu'elles atteignent rarement le but proposé, et qu'elles présentent dans leur emploi de très grands inconvénients. Comme l'alliage, avant de fondre et de couler, commence par se ramollir, il offre une résistance beaucoup moindre à l'effort de la vapeur, et il arrive souvent que, par suite de cette diminution de résistance, la rondelle cède à la pression de la vapeur lorsque celle-ci est encore bien loin des limites assignées. On a obvié en partie à cet inconvénient en serrant la rondelle fusible entre deux toiles métalliques à mailles étroites qui la maintiennent de manière à prévenir ses boursouflures. Mais un autre inconvénient plus difficile à éviter, c'est que la rondelle fusible, quoique placée à la partie supérieure de la chaudière, finit par s'encroûter des dépôts qui proviennent de l'évaporation de l'eau : ces dépôts s'attachent à sa surface, et la recouvrent d'une enveloppe terreuse qui retarde la transmission de la chaleur et l'empêche d'entrer en fusion au degré convenable.

Les rondelles fusibles présentent un autre inconvénient qui est de beaucoup le plus grave. Lorsque, la vapeur ayant dépassé dans la chaudière ses limites normales, la plaque métallique est entrée en fusion, toute la vapeur qui se trouvait contenue dans la chaudière s'échappe aussitôt dans l'air. L'explosion est ainsi prévenue, mais la marche de la machine est du même coup arrêtée, puisque la chaudière est ouverte et cesse d'envoyer sa vapeur dans le cylindre. Il faut, de toute nécessité, remplacer la plaque fusible, remplir de nouveau la chaudière d'eau et la chauffer. Dans bien des cas ce n'est pas sans de graves inconvénients que l'action de la machine peut être ainsi suspendue. Dans un bateau à vapeur, près des côtes et au moment d'entrer dans le port, l'absence subite du moteur constituerait un danger très sérieux. Là est le vice capital et tout à fait irrémédiable

des appareils de sûreté composés de métaux fusibles. La soupape de Papin est exempte de cet inconvénient, car dès qu'elle a donné issue à la vapeur dont l'excès de force élastique menaçait de compromettre l'appareil, elle retombe, ferme de nouveau la chaudière, et la vapeur, ainsi ramenée à la tension convenable, poursuit l'effet de son action motrice.

En raison de ces divers inconvénients, les plaques fusibles sont aujourd'hui à peu près abandonnées. En France, les règlements d'administration exigeaient autrefois l'adjonction à toutes les chaudières à vapeur de deux plaques fusibles de dimensions inégales, depuis quelques années cette prescription a été levée (1).

Manomètre. — Le moyen le plus certain de prévenir les dangers qui pourraient résulter de l'augmentation accidentelle de la pression de la vapeur, c'est de pouvoir s'assurer à tout moment de l'état exact de la tension que possède la vapeur. L'appareil destiné à donner à chaque instant au mécanicien l'indication et la mesure de la pression qui s'exerce à l'intérieur de la chaudière porte le nom de *manomètre.*

Le manomètre employé dans la plupart des machines à vapeur consiste simplement en un long tube de verre ouvert par ses deux bouts, plongeant dans un réservoir de mercure, qui communique lui-même avec la vapeur contenue dans la chaudière. Lorsque la pression intérieure ne dépasse pas une atmosphère, le mercure s'élève à la même hauteur dans le réservoir et dans le tube. Si elle est de deux atmosphères, le mercure s'élève à $0^m,76$ de hauteur, d'après les principes connus sur la mesure de la pesanteur de l'air ; si la pression est de trois atmosphères, il s'élève à deux fois $0^m,76$ de hauteur,

(1) Aucune chaudière ne peut être employée avant d'avoir été essayée à froid, au moyen d'une presse hydraulique, sous une pression triple de celle qu'elle doit supporter. Cet essai est vérifié par les soins de l'ingénieur du département.

c'est-à-dire à $1^m,52$, etc. Employé sans autre artifice, ce manomètre, dont les indications sont d'ailleurs parfaitement rigoureuses, aurait un inconvénient pratique : l'excessive longueur que devrait présenter le tube pour indiquer des pressions de cinq ou six atmosphères, porterait l'extrémité de la colonne de mercure à une hauteur telle que le mécanicien ne pourrait la voir commodément. C'est pour obvier à cette difficulté que l'on donne au manomètre à air libre une disposition particulière. Elle consiste à placer à la surface du mercure un petit flotteur suspendu à un fil passant sur une poulie et équilibré par un contre-poids. Ce contre-poids se meut en sens contraire du mouvement du mercure ; il se trouve ainsi placé à une hauteur convenable pour que le mécanicien puisse aisément l'apercevoir. Une échelle graduée, disposée le long du tube, exprime les variations de la pression intérieure de la vapeur en atmosphères et en fractions de cet élément.

Tels sont les moyens de sûreté employés pour prévenir les accidents qui pourraient résulter de l'accroissement accidentel de la pression de la vapeur. Examinons maintenant les appareils qui sont mis en usage pour prévenir les dangers qui pourraient résulter d'une interruption dans l'alimentation de la chaudière. Ces appareils sont les *indicateurs du niveau de l'eau* et les *flotteurs*.

Le plus simple et le plus utile des *indicateurs du niveau de l'eau* est un tube de verre vertical qui communique avec l'intérieur de la chaudière, et qui se trouve fixé contre ses parois à l'aide de deux tubulures de cuivre. L'eau s'élève dans l'intérieur de ce tube transparent à la même hauteur que celle qu'elle occupe dans la chaudière. Le mécanicien a, de cette manière, constamment sous les yeux la hauteur que le liquide occupe dans le générateur.

Cependant, comme il est de la dernière importance que le chauffeur connaisse à chaque instant la quantité d'eau qui existe dans la chaudière, on ne se contente pas de ce premier moyen,

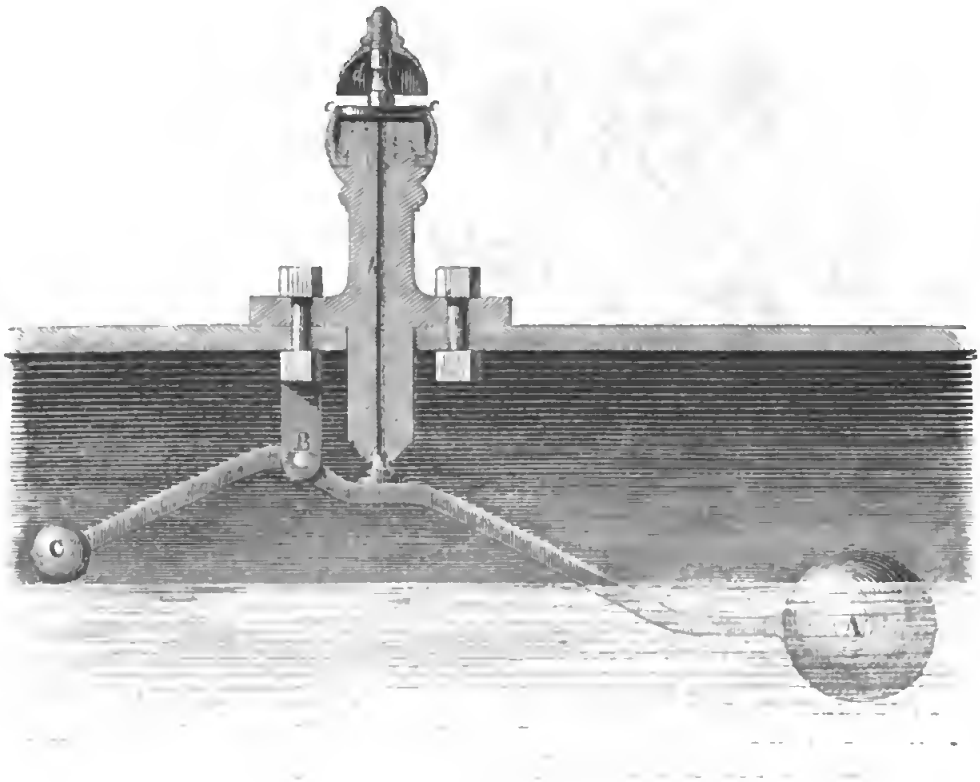
et l'on met à la disposition de l'ouvrier d'autres appareils destinés à lui fournir la même indication. A cet effet, deux robinets sont adaptés à la chaudière en des points peu éloignés de la position que doit avoir constamment le niveau de l'eau ; ils sont situés, l'un au-dessus, l'autre au-dessous de ce niveau, de telle sorte qu'en ouvrant successivement ces deux robinets, le chauffeur doit voir couler de l'eau par le robinet inférieur et de la vapeur s'échapper par l'autre.

Le *flotteur*, dont l'emploi est obligatoire pour les chaudières à vapeur, est composé d'un corps quelconque équilibré de manière à surnager l'eau, et qui, placé à la surface de l'eau, s'élève ou s'abaisse avec elle. Le mouvement de ce flotteur est rendu sensible au dehors par une tige métallique déliée qui le surmonte verticalement, et qui traverse à frottement la paroi supérieure de la chaudière. L'extrémité de cette tige se meut sur une échelle graduée, et permet à l'ouvrier de suivre à chaque instant le mouvement de l'eau dans l'intérieur de la chaudière.

Les moyens précédents ne peuvent servir à prévenir l'abaissement du niveau de l'eau dans le générateur que tout autant que l'ouvrier y porte attention ; ils deviennent nécessairement inefficaces par suite de sa distraction ou de sa négligence. Aussi les chaudières sont-elles toujours munies d'un appareil nommé *flotteur d'alarme*, qui a pour but de réveiller l'attention du mécanicien distrait. Cet ingénieux appareil est représenté dans la figure ci-après.

Un flotteur A se trouve fixé à l'extrémité d'un levier ABC, qui est muni, à son autre extrémité, d'un contre-poids C. Lorsque le niveau de l'eau se maintient dans la chaudière à une hauteur convenable, ce flotteur tient la petite pièce conique *a* pressée contre l'orifice du tube vertical *b*, et ferme ainsi, en ce point, le générateur. Mais si, par suite d'un défaut d'alimentation de la chaudière, l'eau vient à baisser, le flotteur la suit dans son mouvement, et l'orifice *a* se trouve ainsi débouché ; la vapeur

s'échappe donc aussitôt par l'issue que lui présente le tuyau *ab*. Ce jet de vapeur s'élance par l'ouverture annulaire *cc*, et rencontrant le timbre métallique *d* par son contour aigu, il le met aussitôt en vibration et fait entendre un coup de sifflet qui trahit le défaut de surveillance du chauffeur.



Ces précautions si multipliées pour entretenir d'une manière régulière et constante l'alimentation du générateur, peuvent paraître superflues, quand on se souvient que cette alimentation se fait d'une manière continue, au moyen d'une pompe mise en mouvement par la machine elle-même, et dont les dimensions sont calculées de telle sorte qu'elle refoule dans la chaudière une quantité d'eau à peu près correspondante à celle que l'évaporation fait disparaître. Mais le jeu de cette pompe peut être sujet à quelque dérangement, et c'est afin que l'ouvrier puisse reconnaître si elle fonctionne avec la régularité

nécessaire, que l'on met à sa disposition les divers moyens qui viennent d'être énumérés pour apprécier la hauteur du niveau de l'eau. Quand le mécanicien s'aperçoit que le générateur renferme une trop grande quantité d'eau, il arrête le jeu de la pompe alimentaire, soit en décrochant la tige qui la rattache au balancier, soit en fermant un robinet adapté au tuyau d'aspiration ; il rétablit le jeu de cette pompe dès que le niveau de l'eau commence à s'abaisser au-dessous de la ligne normale tracée à l'extérieur.

CHAPITRE XI.

Coup d'œil sur les principaux systèmes de machines à vapeur mis en usage depuis Watt jusqu'à nos jours.

Nous compléterons l'exposition qui précède en faisant connaître les principaux systèmes ou modes de construction des machines à vapeur qui ont été mis en usage depuis Watt jusqu'à notre époque; nous nous bornerons toutefois à signaler celles de ces machines dont les avantages, bien constatés par l'expérience, ont motivé la conservation et l'emploi général.

La machine de Watt, *machine à balancier et à basse pression*, a été décrite avec assez d'étendue dans le cours de cette notice, pour qu'il soit inutile d'entrer ici dans d'autres détails sur sa construction et son mécanisme. Pendant une longue suite d'années, on n'a pas employé, en Angleterre, d'autres machines à vapeur, et, dans les autres pays, elle fut longtemps conservée à l'exclusion de toute autre, même dans le cas où elle perd une grande partie de ses avantages, c'est-à-dire pour la production de petites forces. Cependant la nécessité d'approprier l'action

de la vapeur à différentes natures de travaux a obligé de modifier, dans presque toutes ses parties, la machine de Watt; c'est l'examen de ces dispositions nouvelles qui va maintenant nous occuper.

La plus importante de toutes les modifications apportées, depuis Watt, à la machine à vapeur, fut réalisée en 1804 par le constructeur anglais Arthur Wolf, qui opéra dans son système une véritable révolution, puisqu'il diminua dans une forte proportion la quantité de combustible consommé par cette machine, tout en ajoutant à la régularité de ses effets.

La machine de Wolf marche toujours à haute pression; elle présente l'application la plus utile de la détente de la vapeur, et donne l'emploi le plus économique de la vapeur à haute pression. Au lieu de détendre la vapeur dans le cylindre, comme on l'exécute dans la machine de Watt, cette détente est opérée dans un second cylindre trois ou quatre fois plus grand que le premier; un piston parcourt ce second cylindre, et ce piston, muni d'une tige verticale, vient agir sur un autre point du balancier; comme ces points sont situés du même côté du centre de rotation du balancier, ces deux actions s'ajoutent, et le balancier s'élève en raison des impulsions réunies des deux pistons. Ce n'est qu'en sortant du grand cylindre où elle s'est détendue, que la vapeur passe dans le condenseur pour s'y liquéfier.

Cette machine, qui n'a subi depuis sa création que des modifications de faible importance, présente, sur la machine à basse pression de Watt, l'avantage d'une économie considérable dans le combustible, par suite du meilleur emploi que l'on y fait de la détente de la vapeur. Selon MM. Grouvelle et Jaunez, elle consomme seulement 3 kilogrammes de bonne houille par cheval et par heure de travail dans les machines de la force de 8 à 12 ou 15 chevaux (1). On sait, d'après les résultats obtenus, tant

(1) *Guide du chauffeur*, p. 372.

en Angleterre qu'en Belgique et en France, que la machine à basse pression de Watt brûle ordinairement 6 à 7 kilogrammes de houille par cheval et par heure de travail.

L'économie qui résulte de l'emploi de la machine de Wolf la fit adopter assez généralement en Angleterre. Mais son succès fut plus complet et plus rapide en France, où le mécanicien Edwards, qui l'avait modifiée avec avantage dans quelques-unes de ses parties, en répandit sans peine l'usage. Edwards, qui établit les ateliers de Chaillot, est encore l'inventeur des *tiroirs*, qui remplacent les soupapes dans presque toutes les machines actuelles.

Pendant que Wolf et ses successeurs modifiaient profondément la machine à balancier, en y introduisant la haute pression et la détente dans une large mesure, les constructeurs du Cornouailles, et principalement Trevithick, s'occupaient à perfectionner la machine à simple effet de Watt, qui servait et qui sert encore, dans les mines du Cornouailles, à l'épuisement des eaux, et ils parvenaient, par une série d'inventions remarquables, à la porter à un degré étonnant de perfection.

Les machines du Cornouailles sont à simple effet et à moyenne pression, c'est-à-dire à la pression de trois ou quatre atmosphères. Leurs dimensions sont colossales; les cylindres ont de 2 à 3 mètres de diamètre, et le piston a une course de 3 à 4 mètres; la détente s'y effectue sans l'emploi d'aucun cylindre additionnel, et elle se trouve portée jusqu'à dix fois le volume de vapeur introduite à chaque oscillation. La soupape à double recouvrement, imaginée par les constructeurs du Cornouailles, permet d'ouvrir à la vapeur de larges orifices, et n'exige pour être manœuvrée qu'un très faible effort. C'est par la réunion de ces divers perfectionnements que l'on est parvenu, dans les machines du Cornouailles, à faire descendre la consommation du charbon à 1 kilogramme par heure et par force de cheval. Ce résultat extraordinaire, des rapports fréquemment publiés

sur le produit de ces machines, des expériences faites à ce sujet sur une échelle considérable, ont donné aux machines du Cornouailles une réputation immense et d'ailleurs méritée.

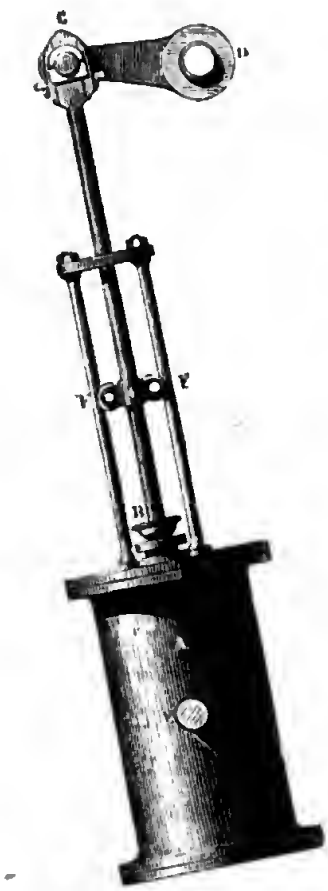
Les machines à basse ou à moyenne pression perdent une partie de leurs avantages quand il ne s'agit que de produire des effets mécaniques d'une médiocre intensité, et dans ce cas, pour des machines d'une force inférieure, par exemple, à 15 ou 20 chevaux, les machines à haute pression sans condensation interviennent souvent avec profit.

Les machines à haute pression ont été principalement répandues en Angleterre, en 1830, par le constructeur Maudslay. Les machines de Maudslay, que l'on désigne aussi sous le nom de *machines à bielle articulée*, sont avec ou sans condenseur, et n'emploient pas de balancier. La tige du piston s'y trouve maintenue en ligne droite par une traverse à articulation mobile roulant entre deux coulisses. Ce genre de machines est encore très employé en Angleterre et en France. Sa disposition élégante et commode, la faculté de marcher avec ou sans condenseur, et de graduer à volonté la détente, le font beaucoup rechercher. M. Farcot construit aujourd'hui à Paris un grand nombre de machines qui reproduisent une partie des dispositions de celles de Maudslay.

C'est vers l'année 1832, et dans les années qui suivirent, que l'art de construire les machines à vapeur se répandit et se multiplia en France. Par suite de l'émulation qui s'établit à ce sujet entre nos constructeurs, chacun voulut avoir ses formes et ses dispositions particulières, et l'on vit paraître alors une série nombreuse de machines plus ou moins bien conçues, en partie originales, en partie empruntées aux constructeurs anglais. On peut réduire aux trois groupes que nous allons énumérer, les principaux systèmes de machines à vapeur imaginés vers cette époque, et qui sont conservés aujourd'hui dans nos ateliers et nos usines.

1° *Les machines à cylindre fixe vertical.* Elles transmettent le mouvement à un arbre disposé à la partie supérieure du bâti. Ces machines conviennent surtout aux ateliers, tels que filatures, ateliers de constructions mécaniques, etc., où l'on emploie des arbres de transmission fixés vers le plafond, et qui communiquent le mouvement aux différents établis répandus dans l'atelier. Ces machines sont habituellement à moyenne pression et à condenseur.

2° *Les machines oscillantes.* Dans ce genre de machines, qui diffère essentiellement des précédentes, on a supprimé la bielle, et articulé directement la tige du piston à la manivelle qui fait tourner l'arbre moteur. Pour rendre ce mécanisme applicable, il a fallu donner de la mobilité au cylindre à vapeur lui-même, afin que la tige de son piston pût toujours être dirigée suivant son axe, malgré les diverses positions de la manivelle. Voici comment on est parvenu à atteindre ce résultat, qu'il était assez difficile de réaliser. On fait supporter le cylindre A par deux tourillons EE, autour desquels il oscille en tournant tantôt à droite tantôt à gauche. Pour que le piston puisse toujours donner au cylindre qu'il entraîne une position convenable, on munit sa tige de deux roulettes FF, glissant entre deux tringles. Comme les tourillons EE sont les seules parties du cylindre qui restent immobiles pendant le mouvement continuel de la machine, c'est par l'intérieur de l'un d'eux que s'introduit la vapeur arrivant de la chaudière; la vapeur qui a



cessé d'agir s'échappe par l'autre tourillon. Les tiroirs qui sont destinés à distribuer la vapeur sont portés par le cylindre, et suivent ses mouvements.

Les machines oscillantes, construites pour la première fois en Angleterre, en 1817, par Manby, ont été importées en France par M. Cavé. Leur disposition est en elle-même défectueuse, car tout l'effet de résistance s'y trouve supporté par deux tourillons mobiles, tandis que la condition première d'une bonne machine c'est la solidité et l'inébranlable fixité des points d'appui. Aussi ce genre de machines à vapeur ne semble-t-il pas propre à soutenir de longues années de travail, et il nécessite de fréquentes réparations. L'avantage principal des machines oscillantes réside dans leur peu de volume; aussi conviennent-elles particulièrement quand on est limité par l'espace. Depuis quelques années, les bateaux à vapeur en font usage avec un certain succès.

3° *Les machines à cylindre horizontal.* Cette disposition, empruntée à la locomotive, est adoptée aujourd'hui d'une manière très générale. Faciles à établir et à surveiller, les machines horizontales ne peuvent faire usage de condenseur et sont toujours, par conséquent, à haute pression ; mais la détente s'y établit avec beaucoup de facilité. Elles n'ont guère d'autre inconvénient que leur extrême longueur.

C'est encore par suite d'un emprunt fait aux dispositions de la locomotive que l'on a été amené à construire des machines composées de deux cylindres à vapeur accouplés sur le même arbre, et agissant au moyen de deux manivelles perpendiculaires qui impriment à l'arbre un mouvement de rotation, de même que dans la locomotive les deux pistons agissent au moyen de manivelles perpendiculaires pour faire tourner l'axe des roues. Cette disposition est aujourd'hui assez fréquemment utilisée, en raison de la régularité de mouvement qu'elle permet d'obtenir.

Terminons en jetant un coup d'œil rapide sur les principes qui, de nos jours, règlent ou tendent de plus en plus à régler la construction et l'installation des machines à vapeur.

Le principe le plus important, celui qui domine aujourd'hui dans la construction des machines à vapeur, c'est d'approprier chaque genre de machine à l'usage particulier qu'elle doit remplir. Nos constructeurs ne s'attachent plus à fabriquer, comme on le faisait autrefois, la machine à vapeur d'après un type uniforme et commun, mais au contraire à varier ses dispositions et son mécanisme suivant le travail spécial auquel on la destine. La vapeur n'est plus aujourd'hui qu'un instrument, qu'un outil, pour ainsi dire, auquel on s'applique à donner les formes les plus convenables à l'objet particulier qu'il doit remplir.

Un second principe auquel on tend de plus en plus à obéir aujourd'hui dans la construction des machines à vapeur, c'est de supprimer, autant qu'on le peut, ces organes intermédiaires, destinés à transmettre le mouvement, que l'on employait autrefois sous tant de formes différentes. Ces moyens de renvoi sont supprimés toutes les fois que cette suppression peut se faire sans nuire au jeu de la machine. Dans ce cas, c'est la tige même du piston sortant du cylindre à vapeur qui est employée comme agent direct du mouvement. Quelques exemples vont montrer l'application de ce fait. Dans la construction des machines destinées à l'élévation des eaux, on se contente souvent aujourd'hui de placer au-dessus de l'ouverture du puits un cylindre à vapeur, le couvercle en bas, et c'est la tige même du piston qui imprime, sans aucun intermédiaire, le mouvement aux pompes qui opèrent l'élévation des eaux. Dans les grandes usines destinées à l'extraction et au travail des métaux, telles que fonderies, ateliers de laminage, etc., c'est la tringle même du piston des cylindres à vapeur qui met en mouvement des marteaux pesant 5 à 6,000 kilogrammes. On fait agir de la même manière une tige à vapeur pour faire office de pilon et

opérer la pulvérisation de diverses substances. Les machines soufflantes utilisent, suivant le même procédé, le mouvement direct de la vapeur sans aucun organe de transmission. C'est enfin par la même disposition que l'on peut, à l'aide de la tringle d'un cylindre à vapeur, percer, couper, emboutir le fer, le cuivre ou la tôle. En un mot, toutes les fois qu'il est possible de supprimer les moyens intermédiaires pour la communication du mouvement, on réalise cette importante et utile simplification de mécanisme, auquel la vapeur, mieux que tout autre agent moteur, se prête avec facilité.

Un autre principe nouveau, et qui tend à recevoir plus d'extension de jour en jour, consiste dans l'emploi des *grandes vitesses*. La nécessité, qui se rencontre si souvent dans l'industrie, de réduire le poids et les dimensions des machines motrices, les avantages que procure cette réduction, ont amené à substituer aux machines d'un grand volume et d'une force considérable des machines de dimensions plus faibles, mais qui produisent des mouvements infiniment plus rapides. Ainsi, dans les usines métallurgiques où l'on fond les métaux en faisant usage de courants d'air considérables dirigés dans le foyer, au lieu d'employer des machines soufflantes marchant à 1 mètre par seconde, et qui exigent des cylindres à vapeur et des cylindres soufflants de très grandes dimensions, on fait usage de cylindres à vapeur plus petits, mais dans lesquels la vapeur, affluant par de larges orifices et agissant instantanément sur le piston, imprime à celui-ci une vitesse quintuple et décuple du cas précédent. Construites d'après ce principe, les machines à vapeur peuvent, avec des dimensions cinq ou dix fois moindres, produire les mêmes effets mécaniques. C'est le même principe qui a conduit à transmettre l'action du moteur principal à des arbres d'un petit volume, qui prennent dès lors des vitesses considérables.

Les *machines à vapeur rotatives*, dont nous dirons un mot

en terminant, sont une autre application du principe des *grandes vitesses* que nous venons de signaler. Ces machines transmettent directement à l'arbre moteur, auquel elles sont liées sans aucun organe intermédiaire, des vitesses considérables. Voici en général le principe de la disposition et du jeu de ces machines. Un cylindre métallique creux, et divisé en un certain nombre de compartiments qui communiquent entre eux par des soupapes, est en rapport avec une chaudière à vapeur. Ce cylindre est porté sur l'arbre même de la machine à vapeur, et peut par conséquent faire tourner cet arbre par suite de son propre mouvement de rotation. La vapeur s'introduit dans l'un des compartiments intérieurs du cylindre et s'écoule dans le condenseur ; de nouvelle vapeur, arrivant ensuite dans le même compartiment, y exerce sa pression, et cette pression n'étant plus contre-balancée, puisque le vide existe dans le compartiment qui suit, le cylindre reçoit un mouvement de progression. Comme des effets semblables s'opèrent au même instant sur plusieurs points du cylindre, il résulte de ces impulsions réunies un mouvement rapide et continu de rotation imprimé au cylindre. Par suite de ce mouvement, l'arbre de la machine auquel il est fixé reçoit une vitesse de rotation considérable.

Les machines rotatives ont beaucoup occupé, dans ces derniers temps, l'attention des mécaniciens ; quelques personnes ont voulu y voir le germe d'une révolution dans le mode d'emploi de la vapeur. Ces vues étaient évidemment mal fondées. La machine rotative, dont l'idée appartient à James Watt (1), n'offre d'autre avantage que celui qui résulte, en mécanique, de l'application du principe des grandes vitesses. Mais, ici, cet avantage demeure insuffisant pour contre-balancer le défaut capital de ces machines ; ce défaut, à peu près irrémédiable, c'est une excessive

(1) Voyez, Note IV de ce volume, la spécification de ce moyen d'employer la vapeur, dans le premier brevet de James Watt, article 5.

dépense de combustible. Un certain nombre d'industriels qui avaient adopté les machines rotatives, séduits par la simplicité de leur mécanisme et la régularité de leur jeu, ont fini par les abandonner à cause des dépenses qu'elles entraînent. Des machines de ce genre consomment, en effet, de 8 à 10 kilogrammes de houille par heure et par force de cheval; ce rapport excède de beaucoup les pertes qu'il est raisonnable de tolérer pour l'emploi d'une machine, quels que soient les avantages qu'elle puisse offrir sous le rapport de sa simplicité et de son utilité spéciale pour un travail déterminé.

Digitized by Google

LES BATEAUX A VAPEUR.

Digitized by Google

LES BATEAUX A VAPEUR.

CHAPITRE PREMIER.

Premiers essais de navigation par la vapeur exécutés en France par le marquis de Jouffroy. — Expériences sur le Doubs avec l'appareil palmipède. — Les bateaux à roues. — Expériences faites à Lyon avec le bateau à roues du marquis de Jouffroy.

Vers la fin de l'année 1775, un jeune gentilhomme de la Franche-Comté, le marquis Claude Jouffroy d'Abbans, vint pour la première fois à Paris. Il arrivait de Provence, où l'avait exilé pendant deux ans une lettre de cachet sollicitée par sa famille à la suite d'une affaire d'honneur qu'il avait eue avec le colonel de son régiment. Le jeune officier avait consacré les loisirs de son exil à réunir les matériaux d'un ouvrage sur les galères à rames. Depuis que l'Académie des sciences avait mis au concours, en 1753, la question des *moyens de suppléer à l'action du vent*, et couronné le mémoire présenté sur ce sujet par Daniel Bernouilli, on s'occupait en France, avec beaucoup d'ardeur, des perfectionnements à introduire dans les procédés de navigation anciennement en usage. M. de Jouffroy avait abordé le genre de recherches qui avait alors le privilége de fixer d'une manière exclusive l'attention des savants. Pendant le cours de ces études, il fut frappé de cette idée, que la machine à vapeur pourrait s'appliquer avec avantage à la pro-

pulsion des navires. Cette pensée n'avait rien d'ailleurs que de parfaitement simple, elle s'était déjà présentée à l'esprit de la plupart des mécaniciens de cette époque. La machine de Watt, alors consacrée, en Angleterre, à l'épuisement de l'eau dans les mines, constituait un moteur d'une puissance extraordinaire, et tout le monde comprenait que ce nouvel agent était de nature à recevoir bientôt un grand nombre d'applications nouvelles. En étudiant avec attention les divers éléments théoriques et pratiques relatifs à la marche des vaisseaux, le marquis de Jouffroy n'avait pas tardé à se convaincre que l'application de la vapeur à la navigation était loin d'offrir des obstacles insurmontables. Mais l'élément essentiel manquait à ses calculs, car la machine à vapeur était encore fort peu connue parmi nous. Uniquement employée en Angleterre dans les mines de houille, surveillée d'ailleurs avec un soin jaloux chez cette nation, qui désirait jouir exclusivement de ses avantages, la merveilleuse machine n'avait pas encore passé le détroit.

Précisément à l'époque où le marquis de Jouffroy, revenant de son exil, entrait dans la capitale, impatient de recueillir sur la machine à vapeur les renseignements qui lui manquaient, les frères Perrier s'occupaient d'établir la pompe à feu de Chaillot, qui n'était, comme on l'a vu dans l'histoire de la machine à vapeur, qu'une imitation de la machine de Watt à simple effet. La pompe à feu des frères Perrier était alors, pour les Parisiens, le sujet d'une vive et juste curiosité ; la foule ne se lassait pas d'aller contempler son jeu si admirable et si simple. A peine débarqué, le marquis de Jouffroy, sans donner un regard aux merveilles de la capitale qu'il voyait pour la première fois, courait à Chaillot pour se mêler à la foule des visiteurs, et tandis que le mécanisme de l'appareil n'était pour le reste des assistants que l'objet d'une curiosité stérile, il devenait pour lui le texte des plus fructueuses études. Il ne tarda pas à obtenir des frères Perrier la faveur d'une entrée particulière, et put obser-

ver tout à loisir les détails de la machine et le jeu de ses divers organes. L'examen approfondi auquel il se livra ainsi lui montra toute la certitude de ses vues, et dès lors la possibilité de réaliser le projet qu'il avait conçu éclata avec évidence dans son esprit et l'occupa tout entier.

Quelques détails rapides vont faire comprendre comment la machine installée à Chaillot, ou la machine de Watt à simple effet, pouvait, dans une certaine mesure, donner les moyens de créer la navigation par la vapeur, et de triompher des obstacles qui, jusqu'à ce moment, avaient arrêté les mécaniciens dans l'exécution de cette grande pensée.

L'idée d'appliquer la vapeur à la navigation s'était présentée à l'esprit de la plupart des mécaniciens qui avaient été témoins de ses effets. Lorsque Papin proposa sa machine atmosphérique, il insista particulièrement sur l'application que l'on pourrait en faire à la propulsion des bateaux. Les personnes qui ont pris la peine de lire, dans les Notes de cet ouvrage, le texte entier de son mémoire, ont vu que l'illustre physicien y parle surtout des avantages que l'on pourrait retirer de son appareil pour « naviguer contre le vent, » et qu'il propose un mécanisme ingénieux destiné à transmettre la puissance motrice à deux roues placées sur les côtés du bâtiment. Ajoutons que lorsqu'il eut construit le modèle de sa seconde machine à vapeur, Papin se hâta de l'appliquer, comme agent de propulsion, à un petit bateau muni de roues ; on a vu, dans l'histoire de sa vie, quel concours de circonstances l'empêcha de réussir dans cet important essai. Faisons remarquer toutefois que les dispositions absolument vicieuses de sa machine à vapeur hydraulique, et l'imperfection de son appareil mécanique, devaient lui rendre tout succès impossible.

La machine de Newcomen commençait à peine à se répandre dans les comtés houillers de l'Angleterre, qu'un mécanicien de ce pays, nommé Jonathan Hulls, proposait de s'en servir pour

remorquer les navires à l'entrée ou à la sortie des ports. En disposant une manivelle à l'extrémité du balancier de la machine de Newcomen, il transformait le mouvement de va-et-vient du piston en un mouvement de rotation qui se transmettait à la roue à palettes d'un bateau remorqueur (1). Jonathan Hulls obtint un brevet pour cette application de la machine de Newcomen, mais l'amirauté anglaise repoussa son projet. En cela, disons-le, l'amirauté faisait justice d'un plan inexécutable et sans valeur. Si l'on s'en rapporte aux dessins qui nous restent, le bateau de Jonathan Hulls était de la disposition la plus grossière ; il ne portait qu'une seule roue qui, fixée à l'arrière, était mise en mouvement par une machine de Newcomen à l'aide de cordes et de poulies ; il ne présentait ni mâts ni voiles, et l'on ne voyait sur le pont que le long tuyau de tôle servant de cheminée à sa chaudière. Ce n'était donc qu'un simple remorqueur dans lequel la machine à vapeur remplaçait le cabestan et le câble. Mais la machine de Newcomen ne pouvait produire commodément un mouvement de rotation, et l'irrégularité de son action mécanique, autant que la quantité considérable de charbon qu'il aurait fallu prendre à bord du remorqueur pour alimenter la chaudière, rendait impraticable le projet de Jonathan Hulls, qui ne tarda pas à tomber dans l'oubli.

On ne peut juger avec plus de faveur les idées de l'abbé Gauthier, chanoine régulier de Nancy, qui proposa, en 1753, d'appliquer aux bateaux à rames la pompe à feu de Newcomen. Lorsque l'Académie des sciences de Paris eut mis au concours la question des *moyens de suppléer à l'action du vent*, elle

(1) La description de l'appareil de Jonathan Hulls se trouve dans un ouvrage devenu fort rare en Angleterre, intitulé : *Description, avec planches, d'une nouvelle machine servant à faire sortir les bateaux ou navires des ports ou rivières, ou à les y faire entrer contre vent et marée comme en temps calme*, par Jonathan Hulls. Londres, 1737.

reçut, avec le travail de Bernouilli, quelques autres mémoires de divers physiciens, parmi lesquels figuraient Euler, Mathon de Lacour et l'abbé Gauthier. Ce dernier se prononça en faveur de la machine de Newcomen, qu'il appliquait à faire mouvoir des roues à palettes. Mais le défaut du mécanisme qu'il proposait pour la transmission du mouvement, l'irrégularité extrême du travail du balancier dans la machine atmosphérique, enfin la quantité énorme de combustible qu'elle consume, ôtaient toute espèce de valeur au projet de l'abbé Gauthier (1). Dans son mémoire couronné par l'Académie, Bernouilli traita plus judicieusement la même question ; il prouva que la force de la poudre à canon et celle de l'eau bouillante, au moins dans les machines connues de son temps, ne pouvaient l'emporter en rien sur les effets des rames (2). Il montra, par le calcul, qu'une machine à vapeur, telle que la grande machine de Newcomen qui servait à Londres à l'élévation des eaux, et qui était d'une force de 20 à 25 chevaux, ne pourrait faire parcourir à un vaisseau, quelque moyen que l'on mît en usage pour la transmission de la force, que la faible vitesse de $1^m,2$ par seconde, c'est-à-dire un peu plus de deux nœuds.

Les imperfections inhérentes à la machine de Newcomen rendaient donc son emploi impossible à bord des navires. Cependant les défauts de cette forme primitive de la machine à vapeur étaient destinés à disparaître bientôt, et avec eux devaient s'évanouir les obstacles qui empêchaient de l'approprier

(1) Le travail de l'abbé Gauthier a été imprimé, en 1754, dans le tome III des *Mémoires de la Société royale des sciences de Nancy*. Comme, malgré ses imperfections, ce mémoire retrace avec beaucoup de fidélité l'état de la science à cette époque sur l'application de la vapeur à la navigation, nous avons cru devoir le reproduire en partie dans la Note de ce volume. On trouvera, Note V, un extrait étendu de ce curieux travail.

(2) *Recueil des pièces qui ont remporté les prix de l'Académie*, t. VI, p. 94 et suiv.

aux usages de la navigation. Aussi, lorsque Watt, créant, vers 1770, la machine à simple effet, parvint à ce résultat admirable de diminuer des trois quarts la dépense du combustible, tout en augmentant l'intensité de l'action motrice, l'illustre ingénieur fit avancer d'un pas immense la question de la navigation par la vapeur. En diminuant les dimensions de l'énorme machine de Newcomen, en rendant plus égal, plus régulier et plus doux, le jeu du balancier, il ajoutait autant d'éléments nouveaux à la solution du problème qui commençait alors à occuper un certain nombre de mécaniciens éclairés.

Telles sont les considérations qui durent frapper l'ardent et judicieux esprit du marquis de Jouffroy, lorsqu'il lui fut donné de connaître et d'étudier, dans les ateliers de Chaillot, la machine de Watt que les frères Perrier avaient importée de Birmingham. Dès ce moment, ne conservant plus de doutes sur la possibilité pratique de la navigation par la vapeur, il ne s'occupa plus que des moyens de mettre ses idées à exécution.

M. de Jouffroy avait eu l'occasion de rencontrer à Paris deux de ses compatriotes, le comte d'Auxiron et le marquis Ducrest, engagés comme lui dans la carrière militaire et dans celle des sciences ; cette conformité de situation et de goûts n'avait pas tardé à les rapprocher tous les trois. Le comte d'Auxiron, capitaine dans un régiment d'artillerie, avait fini par abandonner son emploi pour s'adonner tout entier aux études mécaniques, et, s'il faut en croire M. de Montgery, dès l'année 1774, il aurait lancé sur la Seine, en face du Champ de Mars, un petit bateau voguant par la vapeur, essai qui ne réussit point par suite de l'insuffisance de la force motrice employée (1). Mais le marquis Ducrest était plus particulièrement en mesure de servir les projets du jeune Jouffroy. Colonel en second du régi-

(1) Montgery, *Annales de l'industrie nationale et étrangère*, t. VIII, p. 297.

ment d'Auvergne, frère de madame de Genlis, Ducrest était un des hommes les plus répandus dans la société du temps de Louis XVI. Il tenait à tout et s'occupait de tout. Il s'était consacré avec succès à l'étude des sciences exactes, car il a écrit, sur la mécanique appliquée, un ouvrage qui lui ouvrit les portes de l'Académie des sciences; il était versé dans les questions de politique et de finance, il a même publié sur ce sujet divers mémoires qui, pour avoir excité la verve satirique de Grimm, n'en ont peut-être pas moins de valeur. M. de Jouffroy ne pouvait rencontrer de protecteur plus utile à ses desseins que cet actif et remuant personnage, dont l'imagination s'allumait au contact de chaque idée nouvelle. Grâce à son zèle et à ses démarches, le projet de navigation par la vapeur du gentilhomme franc-comtois ne tarda pas à être connu de tout ce que Paris renfermait d'hommes distingués dans les sciences, et bientôt une société financière se montra disposée à le mettre en pratique.

Une réunion fut tenue chez le marquis Ducrest, à l'effet de s'entendre sur les moyens d'exécution. Parmi les personnes qui figuraient dans cette petite assemblée, on remarquait Constantin Perrier, le comte d'Auxiron et le maréchal de camp Follenay. On tomba d'accord sur l'idée d'essayer le nouveau mode de navigation, mais on se divisa lorsqu'il fut question des moyens de le mettre en œuvre. Perrier présenta un projet qui différait de celui de M. de Jouffroy, tant par le mécanisme à adapter au bateau, que par la considération des résistances à vaincre et de la force à employer. Il avait calculé ces éléments d'après l'expérience d'un bateau remorqué par des chevaux sur un chemin de halage. M. de Jouffroy prétendait qu'il fallait considérer la résistance comme trois fois plus forte, dès qu'on prenait le point d'appui sur l'eau, au lieu de le prendre sur la terre. La meilleure appréciation était évidemment du côté de M. de Jouffroy, qui se plaçait encore au-dessous de la vérité.

Aussi le comte d'Auxiron, plus familiarisé avec cette question par une expérience antérieure, se rallia-t-il à son projet ; M. de Follenay suivit cet exemple, mais Ducrest se prononça en faveur des idées de Perrier. Jeune et sans notabilité, M. de Jouffroy dut laisser le champ libre au célèbre mécanicien dont l'expérience et les talents faisaient autorité dans le monde des arts. Le plan de Perrier obtint donc la préférence, et l'on décida que le bateau à construire serait exécuté d'après ses vues. Ce ne fut pas cependant sans une vive opposition de la part des dissidents. Le comte d'Auxiron, qui se mourait sur ces entrefaites, écrivait à M. de Jouffroy, à ses derniers moments : « Courage, mon ami ! vous seul êtes dans le vrai. » Et M. de Follenay, enthousiaste de l'invention, colportait partout une souscription pour réunir les moyens de mettre en pratique le plan du marquis de Jouffroy.

L'exécution du projet de Perrier ne tarda pas à justifier les craintes et les critiques qu'il avait suscitées dès le début. On en fit l'expérience sur la Seine, avec un petit bateau que Perrier avait loué, et une machine de Watt à simple effet, qui n'était d'aucun usage dans ses ateliers. Par suite de ses calculs inexacts sur les résistances à vaincre, Perrier avait été amené à donner au moteur la seule force d'un cheval, le cylindre de sa machine à vapeur n'avait que 8 pouces de diamètre ; il en résulta que le bateau put à peine surmonter l'effort du faible courant de la Seine (1). La compagnie aux frais de laquelle l'expérience s'exécutait, abandonna immédiatement l'entreprise.

Cependant le marquis de Jouffroy était retourné dans sa province, plein de confiance dans la certitude de ses idées et impatient de mettre à exécution le plan qu'il avait conçu. Il y a dans la Franche-Comté, à cent lieues de Paris, entre Montbelliard et Besançon, une très petite ville nommée Baume-les-

(1) Ducrest, *Essai sur les machines hydrauliques*, p. 131.

Dames, assise sur la rive droite du Doubs. C'est là que le hardi inventeur entreprit de réaliser le projet qui venait d'échouer entre les mains du plus riche et du plus habile manufacturier de la capitale. Ce n'était pas une pensée sans courage que de tenter l'exécution d'un projet de ce genre au fond d'une province reculée et dans un lieu dénué de toute espèce de ressources de fabrication. A une époque où l'art de construire les machines à vapeur était parmi nous à peine dans son enfance, il était impossible de songer à se procurer, dans la Franche-Comté, un cylindre alésé et fondu; il n'y avait à Baume-les-Dames qu'un simple chaudronnier : c'est à lui que M. de Jouffroy s'adressa pour construire le cylindre de sa machine. Ce cylindre, ouvrage d'art et de grande patience, était fait de cuivre battu; il était poli au marteau à l'intérieur, le dehors était soutenu par des bandes de fer reliées par des anneaux de même métal; il ressemblait assez aux canons de bois fortifiés par des cercles métalliques dont on fit usage dans les premiers temps de l'artillerie.

Le bateau qui fut construit sur les bords du Doubs n'avait pas de grandes dimensions : il n'était long que de quarante pieds, sur six de large. Quant à l'appareil moteur destiné à tenir lieu de rames, il mérite une description particulière.

Un ecclésiastique du canton de Berne, nommé Genevois, fit le premier, en 1759, l'essai de l'appareil moteur propre à remplacer les rames, que l'on désigne communément sous le nom de *système palmipède*. Cet appareil consiste en une sorte de palme qui, comme le pied des oiseaux aquatiques, s'ouvre en s'appuyant sur l'eau pour imprimer un mouvement de progression, en avant et se referme quand cet effet a été produit. C'est un moteur de ce genre qu'adopta M. de Jouffroy. Des deux côtés de son bateau sortaient deux tiges de huit pieds de longueur, portant à leur extrémité une sorte de châssis formé de deux volets mobiles comme nos persiennes et plongeant de dix-

huit pouces dans l'eau ; ce châssis décrivait un arc de trois pieds de corde et de huit pieds de rayon. Une machine de Watt à simple effet, installée au milieu du bateau, mettait en action ces rames articulées. Le mécanisme destiné à leur transmettre le mouvement se composait simplement d'une chaîne de fer attachée au piston et qui s'enroulait sur une poulie pour venir se fixer à la tige du châssis. Lorsque la vapeur, introduite dans le cylindre, soulevait le piston, un contre-poids placé à l'extrémité du châssis ramenait celui-ci vers l'avant du bateau, et dans ce mouvement, les volets se refermaient d'eux-mêmes par suite de la résistance du liquide. La condensation de la vapeur ayant opéré le vide dans l'intérieur du cylindre, la pression atmosphérique entraînait le piston jusqu'au bas de sa course, et par suite de la traction de la chaîne attachée au piston, la rame se trouvait ramenée avec force contre les flancs du bateau, tandis que les volets mobiles s'ouvraient de manière à offrir toute leur surface à la résistance du fluide. Il est bon de remarquer ici que le système palmipède adopté par M. de Jouffroy était le seul qui pût permettre d'appliquer avec quelque avantage la machine à simple effet à la propulsion des bateaux, car ce genre de machine ne produit d'effet utile que pendant la chute du piston ; aucune action mécanique n'a lieu, comme on le sait, lorsque le piston remonte. Le contre-poids attaché à l'extrémité du châssis plongeant dans l'eau était l'analogue du contre-poids qui, comme on l'a vu (p. 126), se trouve fixé à l'extrémité du balancier, pour le soulever quand le piston est parvenu au bas de sa course. Le procédé adopté par M. de Jouffroy était donc le moyen le plus ingénieux et le plus simple de tirer parti de la machine à vapeur telle qu'elle existait à cette époque.

Le petit bateau du marquis de Jouffroy navigua sur le Doubs pendant les mois de juin et de juillet de l'année 1776. Ces expériences suffirent pour faire reconnaître le vice du système palmipède. Une fois ramenés à l'avant du bateau, les vo-

lets à charnières, tirés par la chaîne du piston, devaient s'ouvrir d'eux-mêmes par suite de la résistance du liquide. Au départ, ou quand la vitesse était médiocre, ils s'ouvraient en effet, sans difficulté, mais lorsque le bateau avait acquis une certaine vitesse, la rapidité du courant les empêchait de se rouvrir. Cet inconvénient était surtout prononcé quand on remontait le cours de la rivière ; en descendant il ne se manifestait que plus tard. Un tel défaut, il faut le dire, était loin d'être sans remède, et de nos jours le plus médiocre mécanicien eût trouvé moyen de l'annuler, en armant les volets de quelque pièce mécanique qui les forçât de se développer au moment utile, et sans qu'il fût nécessaire de compter, pour réaliser cet effet, sur la résistance de l'eau. Mais des procédés d'exécution qui ne seraient qu'un jeu pour les mécaniciens de notre époque, apparaissaient alors comme des problèmes insolubles. M. de Jouffroy recula devant cette difficulté insignifiante; au lieu de chercher à perfectionner le mécanisme de ses rames palmées, il abandonna entièrement ce système pour adopter celui des roues à aubes ou à palettes.

L'application des roues à aubes à la navigation était loin de constituer une idée nouvelle. La pensée de réunir sur une roue un certain nombre de rames, afin d'obtenir un emploi plus commode de la force motrice, remonte, en effet, jusqu'à l'antiquité. Les roues à palettes sont au nombre des machines très anciennes dont Vitruve ne connaissait pas l'inventeur (1). Il existe des médailles romaines qui représentent des navires de guerre (*liburnes*) armés de trois paires de roues mues par des bœufs, et Pancirolle, professeur de Padoue, qui en parle en 1587, prétend qu'elles surpassaient en vitesse les meilleures trirèmes (2). D'après un manuscrit cité par M. de Montgery, il y

(1) *Pollionis Vitruvii architectura*, lib. x, cap. 9 et 10 (*De organorum ad aquam hauriendam generibus*).

(2) « Vidi etiam effigiem navium quarundam, quas Liburnas dicunt :

aurait eu des roues à aubes tournées par des bœufs à bord des radeaux qui transportèrent les Romains en Sicile, pendant la première guerre punique (1). Un écrivain militaire du XVe siècle, Robert Valturius, fait aussi mention de la substitution des roues à aubes aux rames ordinaires; il donne, dans son ouvrage, les dessins grossièrement exécutés de deux bateaux munis de petites roues en forme d'étoile, et composées de l'assemblage de quatre rayons placés en croix réunis à un centre commun (2). Enfin le petit bateau à vapeur que Papin construisit en 1707 pour essayer de descendre le Weser naviguait à l'aide de rames tournantes dont Papin avait emprunté l'idée à un petit bateau de plaisir appartenant au prince Rupert, qu'il avait vu fonctionner à Londres. Un mécanicien nommé Du Quet avait fait à Marseille et au Havre, de 1687 à 1693, un grand nombre d'essais avec des rames tournantes, composées chacune de quatre rames courtes et larges, opposées deux à deux et placées en croix (3). Ces expériences avaient produit en France beaucoup d'impression, et cette idée ne tarda pas à y être poursuivie. En 1732, le comte de Saxe présenta à l'Académie des sciences de Paris, le plan, très bien conçu, d'un bateau remorqueur ayant de chaque côté une roue à aubes que faisait tourner un manége de quatre chevaux. « Ces roues, dit le comte de Saxe, faisant le même effet que les rames perpendiculaires, il s'ensuivra que la machine remontera contre un courant, et

» quæ ab utroque latere extrinsecùs tres habebant rotas, aquam attin-
» gentes : quarum quælibet octo constabat radiis, manus palmo è rota
» prominentibus : intrinsecùs verò sex boves machinam quandam circum-
» agendo, rotas illas incitabant : et radii aquam retrorsum pellentes,
» Liburnam tanto impetu ad cursum propellebant, ut nulla triremis ei
» posset resistere. » (*Guidonis Pancirolli res memorabiles, sive deperditæ, commentariis illustratæ ab Henrico Salmuth*, pars I, p. 127.)

(1) *Annales de l'industrie*, t. VIII, p. 294.

(2) Robertus Valturius, *De re militari*, lib. XI, cap. 12.

(3) *Machines et inventions approuvées par l'Académie royale des sciences*, t. I, p. 173 et suiv.

tirera après elle le bateau proposé (1). » C'est à la suite de ce travail du comte de Saxe que l'Académie des sciences avait été amenée à mettre au concours la question des moyens de suppléer à l'action du vent.

L'emploi des roues à palettes dans la navigation n'avait donc rien de neuf dans son principe, mais la difficulté consistait à faire mouvoir ces roues par l'action de la machine à simple effet. Cette difficulté était considérable, en ce que cette machine, n'agissant que par intervalles, ne se prêtait qu'avec beaucoup de peine à produire un mouvement de rotation. On peut même dire que cette transformation du mouvement n'était point réalisable avec les conditions de régularité qu'il importait d'atteindre, et ce fut l'erreur du marquis de Jouffroy, d'abandonner le système palmipède qui s'accommodait assez bien de la machine à simple effet, pour y substituer les roues à aubes. Cependant les moyens qu'il mit en usage pour atteindre ce but étaient aussi parfaits qu'ils pouvaient l'être à cette époque, et l'ingénieuse disposition qu'il adopta mérite d'être connue.

La machine à vapeur de M. de Jouffroy était composée de deux cylindres. Au piston de chacun d'eux était fixé un anneau qui portait une chaîne de fer flexible, et les deux chaînes partant de chaque piston venaient s'enrouler sur un arbre unique destiné à faire tourner les roues. Les deux cylindres étaient placés l'un près de l'autre avec un certain degré d'inclinaison, et ils communiquaient entre eux à l'aide d'un large tube qu'une lame métallique, ou, comme on le dit aujourd'hui, un *tiroir*, pouvait parcourir, de manière à introduire la vapeur, selon son déplacement, dans l'un ou l'autre des deux cylindres. Le procédé employé pour transmettre aux roues du bateau le mouvement d'oscillation des deux pistons, était presque identique

(1) *Machines et inventions approuvées par l'Académie royale des sciences*, t. VI, p. 41.

avec celui que Papin avait proposé pour le même objet en 1690, dans le mémoire que nous avons eu tant d'occasions de citer. M. de Jouffroy se servait d'une double crémaillère à rochets, qui agissait constamment sur une partie cannelée de l'arbre des roues ; les rochets supérieurs cédaient lorsque les rochets inférieurs poussaient, ce qui imprimait à l'arbre un mouvement de rotation continu.

La machine à vapeur qui mettait en jeu ce mécanisme présentait des dimensions considérables, puisque le piston avait vingt et un pouces de diamètre et une course de cinq pieds. Elle fut construite à Lyon en 1780, dans les ateliers de MM. Frères-Jean. Le bateau qui devait la recevoir offrait aussi de très grandes proportions. Il avait quarante-six mètres de long sur cinq de large ; il atteignait donc à peu près les dimensions ordinaires des bateaux à vapeur qui naviguent aujourd'hui sur le Rhône ou le Rhin. Les roues de ce bateau avaient quatorze pieds de diamètre, les aubes étaient de six pieds de longueur et plongeaient à deux pieds dans la rivière. Le tirant d'eau du bateau était de trois pieds et son poids total de 327 milliers, 27 pour le navire et 300 de charge. C'est dans la ville même de Lyon, sur les eaux de la Saône, que le marquis de Jouffroy exécuta les intéressants essais de ce premier pyroscaphe. Le courant très faible de cette rivière, que César nomme pour cette raison *lentissimus Arar*, convenait parfaitement pour des expériences de ce genre.

Le succès de ces expériences fut d'ailleurs complet. De Lyon à l'île Barbe le courant fut remonté plusieurs fois, en présence de milliers de témoins, étonnés de voir cet énorme bateau se mouvoir sur la rivière sans qu'un seul homme apparût sur le pont, et grâce à l'action de l'invisible machine enfermée dans ses flancs. Le 15 juillet 1783, en présence de dix mille spectateurs qui se pressaient sur les quais, et sous les yeux des membres de l'Académie de Lyon, le bateau du marquis de Jouffroy

remonta le cours de la Saône, qui dépassait alors la hauteur des moyennes eaux. Un procès-verbal de l'événement et un acte de notoriété furent dressés par les soins de l'Académie de Lyon (1).

Comment une expérience aussi solennelle, aussi décisive, demeura-t-elle sans fruits pour l'inventeur et sans résultat pour le pays qui en avait été le théâtre? C'est ici qu'il faut exposer la fâcheuse série de circonstances qui eurent pour effet d'annuler, entre les mains du marquis de Jouffroy, son utile découverte; c'est ici qu'il faut montrer le triste revers de l'effigie brillante qui vient d'être présentée.

Le succès de son système de navigation une fois constaté par une expérience publique, le marquis de Jouffroy s'occupa de réunir une compagnie financière dans la vue d'établir sur la Saône un service de transports réguliers, et de continuer en même temps les nouvelles expériences qu'il était nécessaire de poursuivre. Pour atteindre ce double but, la première condition à remplir, c'était de construire un nouveau bateau, car celui qui venait de servir aux expériences était entièrement hors de service. Les minces feuillets de sapin qui formaient sa coque et ses bordages, ne pouvaient être conservés pour un bateau destiné à un usage quotidien; sa chaudière avait été fort mal exécutée, ce qui n'étonnera guère si l'on réfléchit à ce que l'on pouvait faire en ce genre en 1780 et dans une ville de province; aussi, depuis la dernière expérience, elle se trouvait percée sur divers points et ne retenait plus la vapeur. Mais, avant de construire un bateau neuf et de commencer une exploitation sérieuse, la compagnie exigea d'être mise en possession d'un privilége de trente ans. L'autorité royale pouvait seule concéder cette faveur, on s'adressa donc à M. de Calonne. L'inconsistance et la légèreté de ce ministre apparurent ici dans tout leur jour. Pour accorder à M. de Jouffroy le privilége qu'il sollicitait, il suffisait de pos-

(1) Voyez à la fin du volume, Note VI, l'acte de notoriété dressé le 10 août 1783.

séder la preuve authentique de la nouveauté de son invention. Or les faits parlaient haut sous ce rapport ; personne n'ignorait que rien de semblable à ce qui s'était vu à Lyon ne s'était encore produit sur aucun point du monde. L'importance extrême de la question, l'avenir et l'intérêt du pays commandaient donc, autant que la justice, de faire droit sans retard à la requête si modérée de l'inventeur. M. de Calonne en décida autrement. Il jugea nécessaire de consulter l'Académie des sciences pour savoir s'il y avait invention. De son côté, l'Académie outrepassa les vues du ministre, car elle prétendit juger, outre le fait de l'invention, la valeur même des procédés pratiques mis en usage. L'abbé Bossard, Cousin et Perrier furent nommés commissaires du *Mémoire sur les pompes à feu*, adressé par M. de Jouffroy ; Perrier et Borda furent spécialement désignés pour l'examen du pyroscaphe. Ainsi M. de Jouffroy trouvait pour juge celui qui avait été son rival dans la question même qu'il s'agissait d'examiner.

L'Académie des sciences de Paris était fort loin, à cette époque, des habitudes de convenance et de mesure qui la distinguent aujourd'hui. Une discussion orageuse s'éleva dans son sein, à propos de la prétention d'un gentilhomme obscur que peu de savants connaissaient et qui n'était d'aucune Académie. Le témoignage de dix mille personnes qui avaient assisté à l'expérience, le sentiment des académiciens de Lyon, les calculs et les assertions de l'auteur, tout cela fut compté pour rien. L'Académie répondit au ministre qu'avant d'accorder le privilége sollicité par M. de Jouffroy, il fallait exiger que ce dernier vînt répéter ses expériences sur la Seine, en faisant marcher, sous les yeux des commissaires de l'Académie, un bateau du port de 300 milliers. Ainsi la science ne voulait accueillir un résultat publiquement constaté à Lyon qu'après l'avoir vu se reproduire à Paris.

M. de Jouffroy, confiant dans le succès d'une expérience

authentique, exécutée sous les yeux de dix mille spectateurs, avait jugé inutile d'aller suivre à Paris une affaire aussi simple. Il attendait donc, dans une tranquillité parfaite, la délivrance de son privilége, lorsqu'il reçut du ministre la lettre suivante :

« Versailles, le 31 janvier 1784.

» Je vous renvoie, Monsieur, l'attestation du succès qu'a eu à Lyon la pompe à feu par laquelle vous vous proposez de suppléer aux chevaux pour la navigation des rivières, ainsi que d'autres pièces que vous m'avez adressées, jointes à votre requête tendante à obtenir le privilége exclusif, pendant un certain nombre d'années, de l'usage des machines de ce genre. Il a paru que l'épreuve faite à Lyon ne remplissait pas suffisamment les conditions requises ; mais si, au moyen de la pompe à feu, vous réussissez à faire remonter sur la Seine, l'espace de quelques lieues, un bateau chargé de 300 milliers, et que le succès de cette épreuve soit constaté à Paris d'une manière authentique, qui ne laisse aucun doute sur les avantages de vos procédés, vous pouvez compter qu'il vous sera accordé un privilége limité à quinze années, ainsi que vous l'a précédemment marqué M. Joly de Fleury.

» Je suis bien sincèrement, Monsieur, votre très humble et très obéissant serviteur.

» De Calonne. »

En lisant cette lettre, M. de Jouffroy comprit qu'il devait abandonner tout espoir. Il avait consacré ses dernières ressources à la construction de son bateau, et on lui demandait d'aller répéter à ses frais les mêmes expériences à Paris. Il était évident qu'il n'avait plus rien à attendre, et que son antagoniste Perrier venait, pour employer une expression du jour, d'enterrer sa découverte. Il n'éleva ni récriminations ni plaintes, et se borna, pour toute réponse, à expédier à Perrier un modèle au vingt-quatrième du bateau de Lyon. Nul n'a jamais su ce que cette pièce est devenue.

D'autres circonstances vinrent encore ajouter aux difficultés qui arrêtèrent M. de Jouffroy dans l'exécution de sa belle en-

treprise. Au siècle dernier, la noblesse provinciale faisait fort peu de cas des sciences, et surtout de l'industrie; les préjugés de ce genre n'étaient nulle part plus enracinés que dans la Franche-Comté. Aussi M. de Jouffroy rencontrait-il dans sa famille et chez ses amis une hostilité continuelle; on l'accusait de déroger, et peut-être, en effet, dérogeait-il aux traditions nobiliaires de son époque en s'occupant d'inventions utiles au perfectionnement et au bonheur de l'humanité. L'ignorance, qui tenait alors le sceptre des salons, lançait contre lui les traits du ridicule, qui tue en France et blesse en tout pays. On ne le désignait dans sa province que sous le sobriquet de *Jouffroy la Pompe*, et quand le bruit de ses essais parvint jusqu'à Versailles, on se disait à la cour, en s'abordant : « Connaissez-vous ce gentilhomme de la Franche-Comté qui embarque des pompes à feu sur des rivières, ce fou qui prétend faire accorder le feu et l'eau ? » Survinrent les premiers événements de la révolution française. Le marquis de Jouffroy nourrissait d'ardentes convictions royalistes, il fut des premiers à embrasser le parti de l'émigration ; il quitta la France en 1790. Une fois à l'étranger, il se trouva placé au milieu de circonstances qui le détournèrent forcément de ses travaux. Il entra dans l'armée de Condé et prit part aux vaines tentatives qui furent essayées sous le Directoire et sous l'Empire pour le rétablissement de la maison de Bourbon. Finalement, la France, qui, au temps de Papin, avait laissé tomber de ses mains la découverte de la vapeur, par suite de ses dissensions religieuses, perdit peut-être cette fois l'occasion et l'honneur de l'une des plus importantes applications de cette invention féconde.

L'abandon que le marquis de Jouffroy fit, vers 1789, de son projet de navigation par la vapeur, était d'autant plus regrettable, qu'au moment même où il renonçait à le poursuivre, les obstacles qu'il avait rencontrés jusqu'à cette époque allaient s'évanouir devant le génie de Watt. Si l'on a bien compris les

difficultés qui empêchaient d'appliquer la machine à vapeur à simple effet à la navigation, on sentira tout de suite que la découverte de la machine de Watt à double effet permettait d'en triompher. En créant cette machine, d'où il excluait toute intervention de la pression atmosphérique, en imaginant avec le parallélogramme, la manivelle, le régulateur à force centrifuge, etc., des moyens parfaits pour transmettre et régulariser l'impulsion, le célèbre ingénieur était parvenu à donner au mouvement de rotation de la machine à vapeur une égalité, une régularité admirables. La difficulté qui avait empêché jusque-là d'appliquer la vapeur à la navigation se trouvait ainsi aplanie, et il suffisait, pour tenter avec confiance l'essai de ce nouveau système, d'installer à bord d'un bateau une machine à condensation et à double effet, en l'accommodant, par des modifications et des dispositions spéciales, à l'objet nouveau qu'elle devait remplir.

Cette application si importante de la puissance de la vapeur ne fut cependant réalisée ni en Angleterre, où avaient pris naissance les plus remarquables perfectionnements de la machine à feu, ni en France, où s'étaient exécutés les premiers et les plus brillants essais de ce nouveau procédé de navigation; elle devait s'accomplir sur le sol de la jeune Amérique, dans ces immenses et heureuses régions nouvellement écloses au soleil des sciences et de la liberté. Franchissons donc les mers pour suivre, sur les terres du nouveau monde, le développement et les progrès de la grande invention que nous essayons de raconter.

CHAPITRE II.

Essais de Fitch et de Rumsey en Amérique. — Premiers travaux de Fulton.

Après huit ans de guerre, l'acte du 5 septembre 1783 venait de proclamer l'affranchissement de l'Amérique; la bravoure de Washington et la sagesse de Franklin avaient fondé l'indépendance des États de l'Union. Les arts de la paix, les bienfaits de l'industrie devaient bientôt rendre fructueuse la grande tâche accomplie par le succès des armes américaines. Mais la situation topographique de ces contrées offrait de grands obstacles à l'établissement des relations du commerce. Les États-Unis, avec leur territoire immense, dont l'étendue dépasse de beaucoup la moitié de l'Europe, avec leur population très faible encore et disséminée sur tous les points, dépourvus de tout système de bonnes routes, et sillonnés par de grands fleuves dont les rives, couvertes de forêts épaisses, sont inaccessibles au halage, ne pouvaient s'accommoder des moyens de transport usités parmi nous. L'essor du commerce menaçait donc de s'y trouver promptement arrêté par l'insuffisance des voies de communication entre l'intérieur et l'Océan. Les fleuves qui traversent le pays, les lacs immenses qui le bornent au nord, les golfes et les baies qui dessinent ses côtes méridionales, auraient pu sans doute fournir des moyens peu coûteux de communication; mais enfermés dans les terres et protégés ainsi contre l'action des vents, les golfes de l'Amérique n'offrent qu'un moyen assez lent de navigation, et les bords vaseux de ses fleuves, les forêts qui les hérissent, rendent impraticables

les procédés du halage. En outre, le Mississipi et ses branches innombrables sont inaccessibles, dans une grande partie de leur cours, à toute espèce de navires à voiles ou à rames, en raison de la rapidité des courants. C'est ainsi que les bateaux plats qui descendaient ce grand fleuve, mettaient plus d'un mois à se rendre de l'ouest à la Nouvelle-Orléans, où ils étaient tous démolis, faute de pouvoir, même avec des voiles, retourner à leur point de départ. Il est donc facile de comprendre de quelle importance devait être pour l'Amérique la navigation par la vapeur, qui, sur les fleuves, dispense de tout moyen de halage et triomphe de la rapidité des cours d'eau, et qui sur les mers n'a point d'impulsion à demander aux vents ni de retards à essuyer du calme ou des tempêtes. La vapeur eût-elle été inutile au reste du globe, il aurait fallu l'inventer tout exprès pour ces vastes contrées. Aussi la machine de Watt à double effet était à peine connue en Angleterre, que l'on essayait aux États-Unis de l'appliquer à la navigation.

La machine à double effet fut rendue publique en 1781, et ce fut en 1784 qu'elle reçut les perfectionnements qui la rendirent susceptible de transmettre un mouvement de rotation parfaitement régulier. Dans cette année même, en 1784, deux constructeurs américains, Fitch et James Rumsey, exposaient au général Washington le résultat de leurs travaux. Rumsey se présenta le premier, mais Fitch se trouva avant lui en état de faire l'essai de son système sur une échelle d'une grandeur suffisante.

L'appareil moteur que Fitch mit en usage était un simple mécanisme de rames ordinaires en forme de pales verticales mises en mouvement par la vapeur. Mais sa machine, trop faible, put à peine imprimer au bateau une vitesse de deux nœuds et demi. Il construisit cependant, en 1787, un second bateau qui fit plusieurs courses sur la Delaware, et qui filait quelquefois, s'il faut en croire les adversaires de Fulton, jus-

qu'à cinq ou six nœuds. Cependant les dérangements continuels du mécanisme, et plus encore le découragement des actionnaires, qui avaient avancé sans résultat des sommes importantes, firent abandonner l'entreprise. Fitch vint en France en 1791. Il se mit en rapport, à Lorient, avec M. Vail, consul américain, et forma avec lui le projet d'établir des bateaux à vapeur en France. Le gouvernement, qui avait paru d'abord les encourager, ne tarda pas à les abandonner à leurs propres ressources ; on était à la fin de 1792, et cette date explique tout.

Le second constructeur américain, James Rumsey, avait adopté un appareil moteur tout différent de celui de Ficht. Il se servait d'une pompe qui puisait l'eau à l'avant du bateau et la refoulait sous la quille pour la faire ressortir à l'arrière. Ce système avait été proposé, en France, par Daniel Bernouilli ; Franklin l'avait jugé avec faveur : on trouve ce sujet traité avec étendue dans l'une de ses lettres (1). Ne considérant que le cas extrême des roues à aubes immergées jusqu'à l'arbre, Franklin avait cru prouver que l'on perdrait beaucoup de force en employant les roues à aubes comme moyen de propulsion nautique. Le système de Bernouilli lui semblait donc supérieur, et il conseilla à Rumsey d'en faire l'application à son bateau. Ce dernier en fit l'essai en 1787 ; mais le bateau ne filait que deux nœuds et demi. Ayant reconnu l'insuffisance de ce moyen, Rumsey y substitua de longues perches qui poussaient le bateau en s'appuyant sur le fond de la rivière ; ces perches étaient mises en mouvement par des manivelles fixées sur l'axe du volant de la machine à vapeur. Cependant, comme il ne trouvait pas dans son pays tous les encouragements auxquels il s'était attendu, Rumsey, à l'exemple de son prédécesseur Ficht, quitta le nouveau monde, et partit en 1789 pour l'Angleterre, dans l'inten-

(1) *Lettre à M. Leroy*, du 5 avril 1775 (Œuvres de Franklin).

tion d'y faire connaître ses idées. Il fut bien accueilli à Londres, car il trouva, dans le secours de quelques riches associations, le moyen de construire des bateaux qui furent essayés sur la Tamise : mais ses expériences ne donnèrent que de mauvais résultats, et Rumsey mourut avant d'avoir réussi à faire marcher son bateau.

Cependant si Rumsey échoua dans ses efforts pour créer la navigation par la vapeur, il contribua par une autre voie à ses succès futurs, car c'est à lui que revient l'honneur d'avoir dirigé sur ce sujet l'attention de l'ingénieur illustre auquel l'univers doit ce bienfait. Rumsey eut occasion de rencontrer à Londres son compatriote Robert Fulton, alors âgé de vingt-quatre ans. La conformité de leurs goûts établit entre eux une grande intimité, et c'est par les conseils et à l'instigation de Rumsey, que Fulton fut amené à s'occuper pour la première fois de la navigation par la vapeur.

Robert Fulton était né en 1765, à Little-Britain, dans le comté de Lancastre, État de Pensylvanie (Amérique du Nord). Ses parents étaient de pauvres émigrés irlandais. Ayant perdu son père dès l'âge de trois ans, sa première instruction se réduisit à apprendre à lire et à écrire dans une école de village. Il fut envoyé très jeune à Philadelphie, où il entra chez un joaillier pour apprendre cette profession. Les occupations de son apprentissage ne l'empêchèrent pas de cultiver les dispositions remarquables qu'il avait pour le dessin, la peinture et la mécanique. Ses progrès dans la peinture furent tels, qu'avant l'âge de dix-sept ans, il était parvenu à se créer des ressources avec son pinceau. Il allait d'auberge en auberge vendre des tableaux et faire des portraits, et il finit par s'établir comme peintre en miniature, au coin de *Second* et *Walnut streets*, à Philadelphie. Étant parvenu à se procurer ainsi une petite somme, il acheta dans le comté de Washington une ferme où il plaça sa mère. En revenant à Philadelphie, il s'arrêta aux

eaux thermales de Pensylvanie, et s'y lia avec quelques personnes distinguées, entre autres avec M. Samuel Scorbitt. Frappé des dispositions qu'il annonçait pour la peinture, M. Scorbitt l'engagea à se rendre à Londres, où son compatriote Benjamin West, qui avait acquis en Angleterre une certaine célébrité, serait fier d'encourager ses talents. Franklin, qui avait connu le jeune artiste à Philadelphie, lui avait déjà donné le même conseil; Fulton résolut donc de partir pour l'Angleterre, et M. Scorbitt lui ayant généreusement fourni les moyens d'entreprendre ce voyage, il s'embarqua à New-York en 1786.

Ses espérances ne furent point trompées : West le reçut comme un ami; il en fit son commensal et son disciple. Cependant Fulton ne devait pas exercer longtemps la profession de peintre : désespérant d'atteindre la perfection dans cet art, entraîné d'ailleurs par la prédominance de ses goûts, il jeta les pinceaux pour s'adonner entièrement à l'étude de la mécanique. Il séjourna quelque temps à Exeter, dans le Devonshire, et résida ensuite deux années dans la grande cité manufacturière de Birmingham, pour se familiariser avec les procédés pratiques de l'industrie; il s'y attira le patronage du duc de Bridgewater et du comte de Stanhope. En 1789, décidé à tirer parti des connaissances qu'il venait d'acquérir, il revint à Londres, et c'est là que le hasard le mit en rapport avec son compatriote Rumsey. Ce dernier n'eut pas de peine à lui faire comprendre tous les avantages que devait amener en Amérique la création de la navigation par la vapeur, et Fulton s'occupa aussitôt de corriger les vices manifestes du système mécanique adopté par Rumsey. Il était persuadé dès cette époque de la supériorité que présentaient les roues à aubes sur tout autre système de propulsion, et il voulait les faire adopter par son compatriote, lorsque la mort de ce dernier vint arrêter leurs projets communs.

Le comte de Stanhope, bien connu en Angleterre par son goût passionné pour les arts mécaniques, s'occupait, vers le même temps, de quelques essais sur la navigation par la vapeur. Il avait construit un bateau muni d'une machine assez puissante, et il se servait pour moteur d'un appareil palmipède analogue à celui qu'avait employé le marquis de Jouffroy. Fulton n'hésita pas à lui écrire, pour le dissuader d'employer cet appareil, lui recommandant les roues à aubes, et se mettant, pour l'exécution de ce projet, à la disposition du noble lord. Mais ce bon conseil ne fut pas écouté, et la négligence de lord Stanhope à suivre les avis de Fulton amena un retard considérable dans la création de la navigation par la vapeur (1).

Cette circonstance détourna pour quelque temps le jeune

(1) Lord Stanhope n'est pas le premier qui se soit occupé dans la Grande-Bretagne des bateaux à vapeur. Des essais du même genre avaient été exécutés en Écosse dès l'année 1787. Le mécanicien Miller, de Dalswinton, s'occupait, à cette époque, d'essayer les roues à aubes, pour tenir lieu de rames dans la navigation sur les rivières et les canaux; ces roues étaient mues par des hommes au moyen d'une manivelle. Comme elles ne fonctionnaient pas avec la rapidité suffisante, un de ses amis lui suggéra l'idée de les mettre en action par une machine à vapeur, et Miller chargea, en 1791, un ingénieur, nommé Symington, de mettre cette idée à exécution. L'essai en fut fait sur un petit bateau de plaisir qui naviguait sur le lac de sa terre de Dalswinton. L'expérience ayant réussi, Miller fit construire un bateau de 18 mètres de long; il était tiré par une machine installée dans un petit bateau qui le précédait et qui faisait ainsi office de remorqueur. Ce bateau fonctionna, dit-on, sur le canal de Forth et Clyde; mais la vicieuse disposition qui consistait à se servir de la machine à vapeur comme d'un simple remorqueur, devait empêcher tout succès; le bateau souffrit tellement qu'il faillit couler. Miller pensa dès lors qu'il y aurait de l'imprudence à naviguer sur une eau plus profonde que celle d'un canal; il regarda son essai comme avorté et mit de côté son bateau. Les expériences de Miller et de Symington n'offrent donc qu'une très faible importance; et si nous les mentionnons en passant, c'est que les Anglais, qui n'ont apporté qu'un contingent très médiocre à l'invention des bateaux à vapeur, accordent une portée tout à fait exagérée à ces tentatives de leurs compatriotes. Nous ne les consignons ici que pour nous mettre en paix avec les docteurs de l'autre côté du détroit.

ingénieur de ses projets relatifs à la navigation, et l'ardeur de son esprit se porta vers d'autres sujets. Il présenta, en 1794, au gouvernement britannique, un nouveau système de canalisation. Ce système consistait à construire des canaux de petite section, et à substituer aux écluses des plans inclinés, sur lesquels des bateaux, jaugeant seulement de 8 à 10 tonnes, étaient élevés ou descendus avec leur chargement, au moyen de machines mises en mouvement par la vapeur ou par l'eau. Cette idée, déjà pratiquée en Chine depuis un temps immémorial, venait d'être reproduite en Angleterre par William Reynold. A ce système Fulton ajoutait la construction de routes, d'aqueducs et de ponts de fer. Mais ni le gouvernement britannique, ni de riches sociétés auxquelles il s'adressa, ne voulurent consentir à examiner ses plans, et le public ne fit guère plus d'attention à un ouvrage qu'il publia sur cette question pour répandre et faire connaître ses idées. Il s'occupait en même temps de l'exécution de beaucoup d'autres projets mécaniques : il imaginait, pour creuser les canaux, des espèces de charrues qui sont maintenant en usage aux États-Unis ; il présentait à la Société d'encouragement de l'industrie un moulin de son invention pour scier et polir le marbre ; il construisait une machine à filer le chanvre et le lin, et une autre pour fabriquer des cordages. Quelques lettres de remercîment de certaines sociétés savantes, une médaille d'honneur et trois ou quatre brevets d'invention, furent tout ce qu'il obtint dans la Grande-Bretagne. Espérant trouver plus d'encouragement en France, Fulton se rendit à Paris vers la fin de l'année 1796.

Arrivé en France, il se hâta de faire des démarches auprès des ministres et des gens de finance, dans la vue de les intéresser à son nouveau système de canalisation. Mais il reconnut bien vite que ses projets réussiraient encore moins à Paris qu'en Angleterre. Il tourna donc ses vues d'un autre côté.

Le commerce des États-Unis éprouvait les plus graves dom-

mages des longues guerres qui agitaient l'Europe depuis le commencement de la révolution française. Par les ressources immenses de sa marine, l'Angleterre exerçait sur le monde entier un empire tyrannique, en arrêtant les produits importés en France par les nations étrangères, et en s'arrogeant le droit de soumettre à une visite, malgré la protection de leur pavillon, tous les navires qui parcouraient l'Océan. Les États-Unis souffraient en particulier de ce long état d'asservissement, et Fulton, sorte de quaker ou de philosophe humanitaire, était tourmenté du désir d'assurer, en faveur de son pays, la liberté des mers. *The liberty of the seas will be the happiness of the earth:* « La liberté des mers fera le bonheur du monde, » telle était la sentence qui était souvent dans sa bouche. Dans l'espoir de détruire le système de guerre maritime des Européens, il s'attacha à découvrir un moyen d'affranchir les nations plus faibles de la tyrannie britannique. C'est cette considération qui lui suggéra, s'il faut l'en croire, l'idée de son système d'attaques sous-marines, qui dès ce moment, ne cessa de l'occuper jusqu'à la fin de sa vie. Au mois de décembre 1797, il commença à Paris une série d'expériences sur la manière de diriger entre deux eaux, et de faire éclater à un point donné, des boîtes remplies de poudre destinées à faire sauter les vaisseaux. C'est là que s'étaient arrêtées, en 1777, les expériences d'un Américain nommé Bushnell, qui avait le premier imaginé les bateaux plongeurs. Mais les ressources manquaient à Fulton pour poursuivre ses expériences ; il s'adressa donc au Directoire, qui renvoya sa pétition au ministre de la guerre. Ses plans, examinés, furent jugés impraticables. Sans se décourager, il exécuta un très beau modèle de son bateau sous-marin, et muni de cet argument qui parlait aux yeux, il se présenta de nouveau au Directoire. Il fut mieux accueilli cette fois ; une commission fut nommée pour examiner son bateau, et le rapport de cette commission se montra favorable ; aussi ce ne fut pas sans surprise qu'après de

très longs délais, il reçut du ministre de la marine l'avis que ses plans étaient définitivement rejetés.

Trois ans s'étaient passés dans ces travaux et ces sollicitations inutiles. Ne conservant plus d'espoir auprès du gouvernement français, Fulton s'était adressé à la Hollande. Mais la république Batave n'avait pas mieux accueilli ses projets, et il se trouvait hors d'état de faire face aux dépenses que nécessitaient ses recherches. Son talent de peintre vint lui fournir les moyens de les poursuivre. Pendant les sept années qu'il résida à Paris, Fulton habita l'hôtel de M. Joel Barlow, poëte et diplomate américain, qui avait conçu pour lui la plus vive amitié, et l'avait mis en relation avec les ingénieurs et les savants de la capitale. M. Barlow ayant conçu, à cette époque, le projet d'importer à Paris la découverte des Panoramas, due à Robert Barker, peintre d'Édimbourg, chargea Fulton d'exécuter le premier tableau de ce genre qui ait été offert à la curiosité des Parisiens. Cette spéculation obtint le plus grand succès, et resserra encore les liens d'amitié qui unissaient le premier des poëtes et le plus illustre des ingénieurs américains; elle donna à Fulton les moyens de continuer ses expériences sur les procédés d'attaque sous-marine.

Bonaparte venait d'être élevé au consulat à vie. Fulton, espérant trouver près de lui des encouragements efficaces, lui écrivit pour lui faire connaître ses travaux, et pour demander qu'une commission examinât son bateau plongeur et ses appareils sous-marins. Sa requête eut un plein succès. Des fonds lui furent accordés pour continuer ses expériences : Volney, Monge et Laplace, nommés commissaires, approuvèrent ses vues. En 1800, sur l'invitation des commissaires du premier consul, et avec les fonds accordés par le ministère, Fulton construisit un grand bateau sous-marin qui fut soumis à Rouen et au Havre à différents essais. Ils ne répondirent pas cependant aux promesses de l'inventeur. Pendant l'été de 1801, Fulton se rendit

à Brest avec le même bateau, et il exécuta dans ce port plusieurs expériences remarquables. Il s'enfonça un jour jusqu'à 80 mètres sous l'eau, y demeura vingt minutes et revint à la surface après avoir parcouru une assez grande distance ; puis, disparaissant de nouveau, il regagna son point de départ. Le 17 août 1801, il resta plus de quatre heures sous l'eau, et ressortit à cinq lieues de son point d'immersion (1).

Fulton réussit, à l'aide de ses appareils, à faire sauter, dans la rade de Brest, une chaloupe qui s'y trouvait à l'ancre. A la distance de 200 mètres, il lança son *torpedo* contre la cha-

(1) Les divers appareils de guerre sous-marins, auxquels Fulton ajoutait une importance extraordinaire, ont aujourd'hui perdu beaucoup de leur intérêt, soit que l'expérience n'ait pas confirmé tous les résultats promis, soit que les circonstances qui rendaient leur secours utile aient maintenant disparu. Il serait donc hors de propos de s'étendre sur la description détaillée de ces appareils : quelques mots suffiront pour en donner l'idée.

L'instrument destiné à produire les explosions sous-marines, et que Fulton désignait sous le nom de *torpedo* ou *torpille*, consistait en une boîte de cuivre pouvant contenir de 80 à 100 livres de poudre ; cette boîte était armée d'une platine de fusil qui pouvait faire feu à un moment donné ; le tout était attaché à l'extrémité d'une corde longue de 60 pieds, que l'on passait dans une poulie fixée sous l'eau contre le flanc du petit bateau qui portait la torpille. Pour attaquer et faire sauter une embarcation ennemie, Fulton attachait une sorte de harpon à l'extrémité de la corde qui flottait sur l'eau, et quand on dirigeait le petit bateau contre un navire, le mouvement de l'eau suffisait pour attirer l'extrémité de la corde et la fixer à la quille par son harpon. Au bout d'un temps réglé par la fin d'un mouvement d'horlogerie qui communiquait à la platine du fusil, l'explosion se faisait, et en raison de l'incompressibilité de l'eau, tout l'effet explosif se portait contre le navire. Quelquefois la torpille était lancée contre les bâtiments à l'ancre : le mouvement du courant devait alors suffire pour l'attirer contre eux ; d'autres fois, enfin, on plongeait la torpille à 12 ou 14 pieds au-dessous de la surface de l'eau, en l'armant d'une détente qui devait partir et enflammer la poudre dès que le navire la toucherait légèrement. Quant au bateau plongeur que Fulton désignait sous le nom de *Nautilus*, et qui lui servait à submerger ses torpilles ou à s'enfoncer inopinément dans l'eau pour échapper à l'observation de l'ennemi, il ressemblait assez aux différents bateaux de ce genre que l'on a vus souvent, de nos jours, manœuvrer dans nos ports.

loupe, qui, au bout d'un quart d'heure, sauta en l'air au milieu d'une colonne d'eau soulevée à plus de 100 pieds. Cette expérience, qui excita à Brest beaucoup de curiosité, eut lieu en présence de l'amiral Villaret et d'une multitude de spectateurs. Fulton essaya alors de s'approcher de quelques-uns des navires anglais qui croisaient sur les côtes, et s'avançaient fréquemment dans les parages de Berthaume et de Camaret, près de Brest. Il fut sur le point, dans les parages du Havre, de joindre un vaisseau anglais de 74, mais celui-ci changea tout à coup de direction et s'éloigna du *Nautilus*. Plusieurs mois s'écoulèrent ensuite sans qu'aucun bâtiment ennemi s'approchât assez du rivage pour permettre de renouveler la tentative.

Toutes ces lenteurs fatiguèrent le premier consul, qui cessa peu à peu d'ajouter de l'importance aux inventions sous-marines, et qui finit même par les déclarer impraticables. Les mémoires et les pétitions de Fulton commencèrent à demeurer sans réponse, et il fut définitivement informé que le gouvernement français n'entendait plus donner suite à aucun essai de ce genre.

Forcé de renoncer aux projets qu'il poursuivait depuis six ans avec une si grande ardeur, Fulton se disposait à retourner en Amérique, lorsque, vers la fin de 1801, et au moment où il s'occupait des préparatifs de son départ, il rencontra à Paris M. Livingston, ambassadeur des États-Unis. Rober Livingston, qui avait rempli pendant vingt-cinq ans, dans l'État de New-York, les fonctions de chancelier, et qui vint à bout de conclure avec la France le traité de cession de la Louisiane, si avantageux pour sa patrie, ne s'était pas seulement occupé à New-York de travaux diplomatiques. Versé dans la connaissance de l'industrie et des arts, il s'était consacré avec beaucoup de zèle à l'étude de la question des bateaux à vapeur. En 1797, avec l'aide d'un Anglais nommé Nisbett et du Français Brunel, le célèbre ingénieur qui construisit plus tard le tunnel de la Tamise à Londres, il avait établi sur l'Hudson divers modèles de bateaux à vapeur

destinés à des expériences. On avait essayé, sous sa direction, les divers mécanismes applicables à la progression des bateaux : des roues à aubes, des surfaces en hélice, des pattes d'oie, des chaînes sans fin, etc. Plein de confiance dans le succès, il avait alors demandé à la législature de l'État de New-York un privilége exclusif de navigation par la vapeur sur les eaux de cet État, faveur que l'on s'était empressé de lui accorder, à la condition, pour lui, de présenter dans le délai d'un an un bateau marchant par l'effet de la vapeur, et faisant $4^{kilom},8$ à l'heure. Cependant les expériences n'ayant pas fourni les résultats attendus, les conditions stipulées dans l'acte du Congrès n'avaient pu être remplies, et le projet en était resté là. C'est inutilement que Livingston s'était associé, en 1800, avec un très habile constructeur, John Stevens, de Hobocken. Tous les efforts de Stevens avaient échoué pour remplir les conditions imposées par la législature de New-York. Mais cet échec n'avait pas découragé Livingston, et lorsqu'il vint en France, chargé de représenter le gouvernement de son pays, il apportait en Europe le plus vif espoir de succès. A peine eut-il établi quelques relations avec Fulton, qu'il comprit tout le parti qu'il pourrait tirer de l'activité, des talents et des études spéciales de ce remarquable ingénieur. Aussi lorsque, au moment de s'embarquer pour l'Amérique, Fulton se présenta à l'ambassade des États-Unis pour y prendre congé du représentant de sa nation, Livingston fit-il tous ses efforts pour le dissuader de son projet ; il l'engagea à différer son départ pour s'occuper avec lui de la grande question des bateaux à vapeur qui importait à un si haut degré à la prospérité et à l'avenir de leur commune patrie. A la suite de leurs conférences, un acte d'association fut passé entre eux : Livingston se chargeait de fournir tous les fonds nécessaires à l'entreprise, les expériences à exécuter étaient confiées à Fulton.

Tous les systèmes essayés jusqu'à cette époque pour la créa-

tion de la navigation par la vapeur avaient échoué sans exception. Fulton attribuait ces échecs si nombreux aux vices des appareils de propulsion mis en usage. Il jugea donc nécessaire de recourir au calcul pour comparer les effets produits par les divers mécanismes employés jusqu'à cette époque. Il s'occupa d'abord d'étudier par cette voie le système du refoulement de l'eau sous la quille du bateau, procédé que James Rumsey avait mis en pratique dans ses expériences à Philadelphie, et plus tard à Londres. Il fut amené à conclure que c'était là le plus imparfait de tous les modes de progression nautique. Il étudia ensuite le système palmipède, qu'il trouva insuffisant pour produire la vitesse exigée. Le mécanisme qui lui parut réunir le plus d'avantages consista dans l'emploi d'une chaîne sans fin mise en action par la vapeur, et munie d'un certain nombre de palettes faisant office de rames. C'était une manière d'employer un plus grand nombre de palettes que celui que portent les roues à aubes, et d'augmenter ainsi le nombre des rames agissant sur l'eau.

Les bords de la Seine n'offraient pas à Fulton assez de tranquillité ni de solitude pour se livrer commodément aux expériences que nécessitait l'emploi de ce nouveau moteur. Madame Barlow ayant reçu le conseil de se rendre aux eaux de Plombières, il se décida à l'accompagner, et ce fut sur la petite rivière de l'Eaugronne, qui traverse Plombières dans toute son étendue, qu'il fit l'essai, avec un petit modèle, de ses rames mises en action par une chaîne sans fin. Cependant, de retour à Paris en octobre 1802, il trouva déposé au Conservatoire des arts et métiers le modèle, que l'on y voit encore, d'un bateau à vapeur pourvu d'un mécanisme analogue à celui qu'il venait d'expérimenter à Plombières. Ce bateau avait été construit et essayé sur la Saône par un horloger de Trévoux nommé Desblancs. Or l'appareil de Desblancs avait complétement échoué quand on l'avait mis en pratique sur de plus grandes propor-

tions. Heureusement renseigné par les résultats de cette expérience, Fulton abandonna ce système pour en revenir à l'emploi des roues à aubes qu'il avait proposées à lord Stanhope dès l'année 1793.

Après quelques expériences qui furent exécutées pendant l'hiver de 1802 à 1803, sur la Seine, à l'île des Cygnes, Fulton se mit à construire le grand bateau qui devait servir à juger définitivement la question pratique de la navigation par la vapeur. Les échecs répétés que l'on avait éprouvés en France et aux États-Unis tenaient à deux causes: au défaut du système moteur destiné à faire office de rames, et à l'insuffisance de la force donnée à la machine à vapeur. Par des calculs plus justes et par une appréciation plus rigoureuse des résistances à surmonter, Fulton parvint à éviter ces deux écueils; c'est donc par le secours de la théorie judicieusement transportée dans la pratique qu'il trouva les moyens de faire réussir la grande entreprise qui avait échoué jusque-là entre les mains d'un si grand nombre d'ingénieurs distingués (1).

Le bateau de Livingston et Fulton fut terminé au commencement de l'année 1803. Tout se trouvait prêt pour l'essayer sur la Seine, au milieu de Paris, lorsqu'un matin, Fulton, sortant de son lit, où une anxiété et une impatience bien naturelles à la veille d'une épreuve aussi solennelle, l'avaient empêché de goûter le moindre repos, vit entrer dans sa chambre un de ses ouvriers dont les traits bouleversés annonçaient un malheur. Un

(1) Il existe, au Conservatoire des arts et métiers, une lettre assez curieuse de Fulton qui contient l'annonce et la description de la machine qu'il se proposait d'appliquer aux bateaux de rivières. Cette lettre est adressée par Fulton, avec le dessin de son bateau, aux directeurs du Conservatoire, Molard, Bandel et Montgolfier, pour établir la priorité de son invention. Nous reproduisons à la fin du volume (Note VII) cette lettre de Fulton. C'est un document peu connu et qui établit d'une manière authentique la date certaine de la première origine de la navigation par la vapeur.

grand malheur venait en effet de le frapper. Le bateau s'était trouvé trop faible pour supporter le poids de la machine à vapeur que l'on y avait installée quelques jours auparavant, et par suite de l'agitation de la rivière provenant d'une bourrasque survenue dans la nuit, il s'était rompu en deux et avait coulé à fond. Jamais homme ne ressentit un désespoir plus violent que celui qu'éprouva Fulton, en voyant ainsi s'anéantir en un clin d'œil le fruit de tant de travaux et de veilles, au moment même où il touchait au but si ardemment désiré. Cependant il n'était pas homme à se laisser longtemps abattre; il courut à l'île des Cygnes pour essayer de réparer le désastre. Pendant vingt-quatre heures consécutives, et sans prendre ni repos ni nourriture, il travailla de ses propres mains à retirer de la Seine la machine et les fragments submergés du bateau. La machine n'avait point souffert, mais il fallait construire un bateau nouveau. Il s'établit donc à l'île des Cygnes, et à la fin du mois de juin 1803, un bateau construit avec les soins et la solidité convenable était prêt à naviguer. Il avait 33 mètres de long sur 2 mètres et demi de large.

Le 9 août 1803, ce bateau navigua sur la Seine, en présence d'un nombre considérable de spectateurs. Fulton avait écrit la veille à l'Académie des sciences pour l'inviter à assister à l'expérience, et l'Académie avait envoyé dans ce but Bougainville, Bossut, Carnot et Perrier. Le bateau, mis en mouvement à diverses reprises, marcha contre le courant avec une vitesse de $1^{m},6$ par seconde, ce qui représente près d'une lieue et demie par heure.

Un témoin oculaire a consigné dans un recueil scientifique de l'époque les détails, malheureusement incomplets, de cette expérience remarquable. Nous transcrivons ce document peu connu, le seul que nous ayons pu retrouver sur ce sujet.

« Le 21 thermidor, on a fait l'épreuve d'une invention nouvelle, dont le succès complet et brillant aura les suites les plus utiles pour le commerce et la navigation intérieure de la France. Depuis deux ou trois mois, on voyait au pied du quai de la pompe à feu, un bateau d'une apparence bizarre, puisqu'il était armé de deux grandes roues posées sur un essieu, comme pour un chariot, et que derrière ces roues était une espèce de grand poêle, avec un tuyau que l'on disait être une petite pompe à feu destinée à mouvoir les roues et le bateau. Des malveillants avaient, il y a quelques semaines, fait couler bas cette construction. L'auteur, ayant réparé le dommage, obtint la plus flatteuse récompense de ses soins et de son talent.

» A six heures du soir, aidé seulement de trois personnes, il mit en mouvement son bateau et deux autres attachés derrière, et pendant une heure et demie, il procura aux curieux le spectacle étrange d'un bateau mû par des roues comme un chariot, ces roues armées de volants ou rames plates, mues elles-mêmes par une pompe à feu.

» En le suivant le long du quai, sa vitesse contre le courant de la Seine nous parut égale à celle d'un piéton pressé, c'est-à-dire de 2,400 toises par heure : en descendant elle fut bien plus considérable. Il monta et descendit quatre fois depuis les Bons-Hommes jusque vers la pompe de Chaillot ; il manœuvra à droite et à gauche avec facilité, s'établit à l'ancre, repartit et passa devant l'école de natation.

» L'un des batelets vint prendre au quai plusieurs savants et commissaires de l'Institut, parmi lesquels étaient les citoyens Bossut, Carnot, Prony, Volney, etc. Sans doute ils feront un rapport qui donnera à cette découverte tout l'éclat qu'elle mérite ; car ce mécanisme, appliqué à nos rivières de Seine, de Loire et de Rhône, aurait les conséquences les plus avantageuses pour notre navigation intérieure. Les trains de bateaux qui emploient quatre mois à venir de Nantes à Paris, arriveraient exactement en dix à quinze jours. L'auteur de cette brillante invention est M. Fulton, Américain et célèbre mécanicien (1). »

Cette expérience ne manqua pas, comme on le voit, d'exciter

(1) *Recueil polytechnique des ponts et chaussées*, t. I, p. 82, 6e cahier de l'an XI.

l'attention des hommes pratiques, mais le public s'y intéressa fort peu. La pensée suivait alors, en France, une autre direction. On était au milieu de l'enivrement causé par nos victoires militaires, et en présence des bulletins qui arrivaient chaque jour de toutes les capitales de l'Europe, on se préoccupait médiocrement des progrès de la science ou de l'industrie. Les Parisiens qui traversaient le pont Louis XV, regardaient d'un œil indifférent le petit bateau de Fulton qui resta assez longtemps amarré sur la Seine, en face du palais Bourbon.

Cependant l'inventeur demanda au premier consul que son bateau fût soumis à un examen attentif; il désirait que l'Académie des sciences fût appelée à exprimer son avis sur sa découverte, offrant, si elle était favorablement jugée, d'en faire hommage à la France. Mais Bonaparte accueillit mal cette requête et refusa de saisir l'Académie de la question. Fulton avait fini par lui déplaire. Ses longs essais sur la guerre sous-marine restés sans résultats, ses continuelles demandes d'argent, avaient laissé une impression très défavorable dans l'esprit du premier consul, qui portait un jugement sévère sur la conduite et les projets de cet étranger. D'après nos informations particulières, ce fut Louis Costaz, alors président du Tribunat, qui se chargea de lui soumettre la demande de Fulton. Louis Costaz avait été, pendant l'expédition d'Égypte, le compagnon du général en chef; il avait longtemps partagé sa tente, et il était resté depuis ce moment en possession de sa confiance et de son amitié. Homme éclairé, esprit pénétrant, il comprenait l'avenir de la navigation par la vapeur, et comme il avait assisté à l'expérience de Fulton exécutée sur la Seine, il consentit sans difficulté à transmettre au premier consul les désirs de l'ingénieur américain. Mais il ne put réussir à triompher de ses préventions contre la personne de Fulton ; et comme il insistait et s'efforçait de le persuader de la réalité et de l'importance de la découverte, Bonaparte l'interrompit : « Il y a, lui répondit-il, dans toutes

les capitales de l'Europe, une foule d'aventuriers et d'hommes à projets qui courent le monde, offrant à tous les souverains de prétendues découvertes qui n'existent que dans leur imagination. Ce sont autant de charlatans ou d'imposteurs, qui n'ont d'autre but que d'attraper de l'argent. Cet Américain est du nombre, ne m'en parlez pas davantage. »

L'Académie des sciences de Paris n'entra donc pour rien dans le refus qu'éprouva la requête de Fulton. Elle ne fut point appelée à donner son avis sur ses travaux ; par conséquent elle ne put, comme on le répète chaque jour, qualifier d'erreur grossière et d'absurdité l'idée de la navigation par la vapeur. L'Académie comptait alors dans son sein des savants qui s'étaient particulièrement occupés de ce sujet, entre autres Constantin Perrier, qui avait exécuté l'un des premiers des expériences de ce genre : il était donc impossible qu'elle portât sur cette question le jugement ridicule qu'on n'a pas craint de lui imputer.

Le mauvais accueil que le premier consul fit à la demande de Fulton est d'autant plus difficile à comprendre, qu'il s'occupait précisément à cette époque des préparatifs de l'expédition de Boulogne, et que, tout entier à son projet de jeter inopinément une armée sur le sol de l'Angleterre, il étudiait avec la plus grande ardeur les divers moyens applicables aux rapides transports maritimes. Nous ne dirons pas, comme on l'a tant de fois avancé, que si Napoléon, prêtant une oreille favorable aux propositions de l'ingénieur américain, eût ordonné l'étude de son système de navigation, il aurait, par cela seul, assuré le succès de la grande entreprise qu'il méditait. Des faits incontestables détruisent ce raisonnement fait après coup. En premier lieu, la découverte de Fulton était encore trop récente pour pouvoir entrer immédiatement dans la pratique ; son succès définitif ne fut démontré que quatre années après, dans le dernier essai qu'il fit à New-York, en 1807. En second lieu, l'art de con-

struire les machines à vapeur ne s'était pas encore introduit dans notre pays, et l'on ne pouvait songer à improviser en France, dans l'espace de quelques mois, des usines pour ce genre de fabrication. L'Angleterre seule avait alors le privilége de fournir à l'Europe des machines à vapeur; celle que Fulton installa dans son premier bateau de New-York sortait des ateliers de Watt. Il est à croire que les Anglais n'auraient pas consenti à nous fournir des machines destinées à l'envahissement de leur pays. Enfin, et cette raison paraîtra décisive, Fulton lui-même, comme on peut s'en assurer par sa lettre aux directeurs du Conservatoire des arts et métiers, que nous rapportons dans les Notes de ce volume, ne croyait point à cette époque que les bateaux à vapeur pourraient un jour s'aventurer sur les mers; la navigation sur les fleuves était le seul objet qu'il eût en vue, et lorsque Louis Costaz se chargea d'entretenir le premier consul de sa requête, il ne fit aucune allusion à l'expédition de Boulogne. Disons-le cependant, le propre du génie c'est de devancer l'avenir et de deviner la portée et le développement futur d'une idée par-dessus les erreurs ou les préventions de son temps. On peut donc s'étonner que Napoléon n'ait pas embrassé d'un coup d'œil tout l'avenir de la navigation par la vapeur, et il faut conclure que dans cette grave circonstance son génie lui fit défaut. Ne mettons aucun scrupule à découvrir ces faiblesses, ces défaillances de la pensée du plus grand homme des temps modernes. Ce n'est point là rabaisser sa gloire. Montrer qu'il participa en quelques occasions aux conditions communes de notre nature, ce n'est rien enlever à l'admiration que nous inspirent les grands actes de sa vie où tout son génie s'est révélé.

Au reste, Fulton prit sans trop de peine son parti de cet échec. Au début de ses travaux, il ne s'était point proposé d'intéresser la France à sa découverte, car il n'avait entrepris ses recherches qu'avec le projet d'en appliquer les résultats aux

États-Unis. Il s'occupa donc de prendre les dispositions nécessaires pour établir en Amérique le système de transport dont l'expérience venait de lui démontrer la valeur.

Livingston adressa une lettre aux membres de la législature de l'État de New-York, pour faire connaître les résultats qui venaient d'être obtenus à Paris. La législature dressa alors un acte public, aux termes duquel le privilége exclusif de naviguer sur toutes les eaux de cet État au moyen de la vapeur, concédé à Livingston par le traité de 1797, était prolongé en faveur de Livingston et de Fulton, pour un espace de vingt ans à partir de l'année 1803. On imposait seulement aux associés la condition de produire, dans l'espace de deux ans, un bateau à vapeur faisant quatre milles (6 kilomètres 400 mètres) à l'heure contre le courant ordinaire de l'Hudson. Dès la réception de cet acte, Livingston écrivit en Angleterre, à Boulton et à Watt, pour commander une machine à vapeur dont il donna les plans et la dimension sans spécifier à quel objet il la destinait. On s'occupa aussitôt à construire, dans les ateliers de Soho, la machine demandée par le chancelier, et Fulton, qui peu de temps après se rendit en Angleterre, put en surveiller l'exécution.

Fulton se trouvait, en effet, sur le point de quitter la France. Son séjour à Paris, les expériences auxquelles il continuait de se livrer sur le bateau plongeur et ses divers appareils d'attaque sous-marine, excitaient à Londres la plus vive sollicitude. On s'effrayait à l'idée de voir diriger contre la marine britannique les terribles agents de destruction que Fulton s'appliquait à perfectionner. Lord Stanhope en parla avec anxiété dans la chambre des pairs; à la suite de cette communication, il se forma à Londres une association de riches particuliers, qui se donnèrent pour mission de surveiller les travaux de Fulton. Cette association adressa, quelques mois après, un long rapport au premier ministre, lord Sydmouth; les faits qu'il contenait engagèrent ce ministre à attirer l'inventeur en Angleterre, afin de paralyser,

s'il était possible, les effets funestes que l'on redoutait de l'application de ses travaux. On dépêcha de Londres un agent secret qui se mit en rapport avec Fulton et lui parla d'une récompense de 15,000 dollars en cas de succès. Fulton se laissa prendre à l'appât de cette offre avantageuse, et se décida à quitter Paris.

Il se trompait cependant sur les vues du gouvernement britannique. On ne pouvait nullement s'intéresser, en Angleterre, au succès d'un genre d'inventions qui était destiné, s'il pouvait réussir, à annuler toute suprématie maritime. Le but du ministère anglais était donc simplement de juger d'une manière positive la valeur des inventions de Fulton, et de lui en acheter le secret pour l'anéantir. C'est ce qu'il finit par comprendre aux délais, aux obstacles, à la mauvaise volonté qu'il rencontra partout en Angleterre. La commission nommée pour examiner son bateau plongeur, en déclara l'usage impraticable. Quant à ses appareils d'explosion sous-marine, on exigea qu'il en démontrât l'efficacité en les dirigeant contre des embarcations ennemies. De nombreuses expéditions s'exécutaient à cette époque contre la flottille française et les bateaux plats enfermés dans la rade de Boulogne. Le 1er octobre 1805, Fulton s'embarqua sur un navire anglais et vint joindre l'escadre en station devant ce port : peut-être n'était-il pas fâché d'essayer contre nous les machines maritimes dont nous avions dédaigné l'usage. A la faveur de la nuit, il lança deux canots munis de torpilles contre deux canonnières françaises, mais l'explosion des torpilles ne fit aucun mal à ces embarcations. Seulement, au bruit de cette détonation terrible, les matelots français se crurent abordés par un vaisseau ennemi, mais voyant que l'affaire en restait là, ils rentrèrent dans le port sans pouvoir se rendre compte des moyens que l'on avait employés pour opérer cette attaque au milieu de l'obscurité de la nuit. Fulton se plaignit hautement que l'échec qu'il venait d'éprouver avait été concerté par les Anglais eux-mêmes,

et il demanda à en fournir la preuve. Le 15 octobre 1805, en présence de M. Pitt et de ses collègues, il fit sauter, à l'aide de ses torpilles, un vieux brick danois du port de 200 tonneaux, amarré, à cet effet, dans la rade de Walmer, près de Deal, à une petite distance du château de Walmer, résidence de M. Pitt. La torpille contenait 170 livres de poudre; un quart d'heure après que l'on eut fixé le harpon, la charge éclata et partagea en deux le brick, dont il ne resta au bout d'une minute que quelques fragments flottant à la surface des eaux.

Malgré ce succès, ou peut-être à cause de ce succès, le ministère anglais refusa de s'occuper davantage des inventions de Fulton; on lui offrit seulement d'en acheter le secret à condition qu'il s'engagerait à ne jamais les mettre en pratique. Mais l'ingénieur américain repoussa bien loin cette proposition: « Quels que soient vos desseins, répondit-il aux agents du gouvernement chargés de lui faire cette ouverture, sachez que je ne consentirai jamais à anéantir une découverte qui peut devenir utile à ma patrie. » Sur ces entrefaites, Livingston, qui était rentré en Amérique, où il s'occupait avec ardeur de mettre à profit le privilége que lui avait accordé la législature de l'État de New-York, écrivit à Fulton pour presser son retour, et celui-ci s'embarqua à Falmouth, au mois d'octobre 1806. Il arriva le 13 décembre à New-York. La machine à vapeur qu'il avait commandée à Watt, et dont l'exécution avait souffert différents retards, fut expédiée à la même époque pour New-York, où elle était rendue en même temps que lui.

CHAPITRE III.

Premier bateau à vapeur construit par Fulton en Amérique. — Premier voyage du *Clermont*. — Progrès de la marine à vapeur aux États-Unis.

Fulton s'occupa, dès son retour, de la construction du bateau qui devait lui assurer le privilége promis par la législature des États-Unis. Ce bateau, que l'on nomma *le Clermont*, fut construit à New-York, dans les chantiers de Charles Brown ; il avait 50 mètres de long sur 5 de large et jaugeait 150 tonneaux. Le diamètre des roues à aubes était de 5 mètres; la machine à vapeur à double effet qui les faisait tourner, était de la force de 18 chevaux.

Les travaux de Fulton, qui avaient été si mal appréciés en Europe, n'étaient pas mieux accueillis dans son pays. L'opinion condamnait ouvertement son entreprise. Il n'y avait pas à New-York dix personnes croyant à son succès, et l'on ne désignait son bateau que sous le nom de *la Folie-Fulton*. Comme les dépenses de construction avaient excédé de beaucoup leurs calculs, Livingston et Fulton proposèrent de céder le tiers de leurs droits à ceux qui voudraient entrer pour une part proportionnelle dans les dépenses : personne ne profita de cette offre qui fut regardée comme l'aveu secret d'une prochaine défaite.

Au mois d'août 1807, le *Clermont* était terminé; il sortit, le 10 de ce mois, des chantiers de Charles Brown, et le lendemain, à l'heure fixée pour son essai public, il fut lancé sur la rivière de l'Est. Fulton monta sur le pont de son bateau au milieu des rires et des huées d'une multitude ignorante. Mais les sentiments de la foule ne tardèrent pas à changer, et au

signal du départ, lorsque le bateau se mit en marche, des acclamations d'enthousiasme vinrent venger l'illustre ingénieur des indignes outrages qu'il venait de recevoir. Le triomphe qu'il éprouva dans ce moment dut le consoler des critiques, des dégoûts, des obstacles de tout genre qu'il avait rencontrés dans l'exécution de sa glorieuse entreprise.

« Rien ne saurait surpasser, dit son biographe Colden, la surprise et l'admiration de tous ceux qui furent témoins de cette expérience. Les plus incrédules changèrent de façon de penser en peu de minutes, et furent totalement convertis avant que le bateau eût fait une quart de mille. Tel qui, à la vue de cette coûteuse embarcation, avait remercié le Ciel d'avoir été assez sage pour ne pas dépenser son argent à poursuivre un projet si fou, montrait une physionomie différente à mesure que le *Clermont* s'éloignait du quai et accélérait sa course ; un sourire d'approbation était sensiblement remplacé par une vive expression d'étonnement. Quelques hommes dépourvus de toute instruction et de tout sentiment des convenances, qui essayaient de lancer encore de grossières plaisanteries, finirent par tomber dans un abattement stupide, et le triomphe du génie arracha à la multitude des acclamations et des applaudissements immodérés (1). »

Fulton, qui était demeuré insensible aux marques de mépris de ses compatriotes, ne se laissait pas détourner dans ce moment par les témoignages de leur admiration. Il était tout entier à l'observation de son bateau, afin de reconnaître ses défauts et les moyens de les corriger. Il s'aperçut ainsi que les roues avaient un trop grand diamètre et que les aubes s'enfonçaient trop dans l'eau. Il modifia leurs dispositions, et obtint un accroissement de vitesse.

(1) *The life of Robert Fulton*, by his friend C.-V. Colden. New-York, 1817, p. 168.

Cette réparation, qui dura quelques jours, étant terminée, Livingston et Fulton firent annoncer par les journaux que leur bateau, destiné à établir un transport régulier de New-York à Albany, partirait le lendemain pour cette dernière ville. Cette annonce causa beaucoup de surprise à New-York. Bien que tout le monde eût été témoin de l'essai sans réplique exécuté peu de jours auparavant, on ne pouvait croire encore à la possibilité d'appliquer un bateau à vapeur à un service de transports. Aucun passager ne se présenta, et ce ne fut qu'au retour d'Albany qu'un habitant de New-York osa tenter l'aventure et eut le courage de retourner chez lui sur le *Clermont* qui allait redescendre le fleuve.

Un recueil anglais a fourni quelques détails intéressants sur cet épisode du premier voyage du *Clermont*. Ce recueil raconte qu'étant entré dans le bateau pour y régler le prix de son passage, l'habitant de New-York n'y trouva qu'un homme occupé à écrire dans la cabine : c'était Fulton.

« N'allez-vous pas, lui dit-il, redescendre à New-York avec votre bateau?

— Oui, répondit Fulton, je vais essayer d'y parvenir.

— Pouvez-vous me donner passage à votre bord ?

— Assurément, si vous êtes décidé à courir les mêmes chances que nous. »

L'habitant de New-York demanda alors le prix du passage, et six dollars furent comptés pour ce prix.

Fulton demeurait immobile et silencieux, contemplant, comme absorbé dans ses pensées, l'argent déposé dans sa main. Le passager craignit d'avoir commis quelque méprise.

« Mais n'est-ce pas là ce que vous m'avez demandé? »

A ces mots Fulton, sortant de sa rêverie, porta ses regards sur l'étranger, et laissa voir une grosse larme roulant dans ses yeux.

« Excusez-moi, dit-il d'une voix altérée, je songeais que ces

six dollars sont le premier salaire qu'aient encore obtenu mes longs travaux sur la navigation par la vapeur. Je voudrais bien, ajouta-t-il en prenant la main du passager, consacrer le souvenir de ce moment en vous priant de partager avec moi une bouteille de vin, mais je suis trop pauvre pour vous l'offrir. J'espère cependant être en état de me dédommager la première fois que nous nous rencontrerons. »

Ils se rencontrèrent en effet quatre ans après, et cette fois le vin ne manqua pas pour célébrer un touchant souvenir.

La traversée de New-York à Albany ne laissa plus de doutes sur les avantages de la navigation par la vapeur. New-York et Albany, situés tous les deux sur les bords de l'Hudson, sont distants d'environ 60 lieues. Le *Clermont* fit la traversée en trente-deux heures et revint en trente heures. Il marcha le jour et la nuit, ayant constamment le vent contraire, et ne pouvant se servir une seule fois des voiles dont il était muni. Parti de New-York le lundi, à une heure de l'après-midi, il était arrivé le lendemain à la même heure à Clermont, maison de campagne du chancelier Livingston, située sur les bords du fleuve. Reparti de Clermont le mercredi à neuf heures du matin, il touchait à Albany à cinq heures de l'après-midi. Le trajet avait donc été accompli en trente-deux heures, ce qui donne une vitesse de deux lieues par heure : ainsi la condition imposée par l'acte du Congrès avait été remplie.

Pendant son voyage nocturne, le *Clermont* répandit la terreur sur les bords solitaires de l'Hudson. Les journaux américains publièrent beaucoup de récits de sa première traversée ; ces relations étaient sans doute empreintes de quelque exagération, elles se rapportent cependant à des sentiments trop naturels pour pouvoir être contestées. On se servait, sur le bateau de Fulton, pour alimenter la chaudière, de branches de pin ramassées sur les rives du fleuve, et la combustion de ce bois résineux produisait une fumée abondante et à demi embrasée

qui s'élevait de plusieurs pieds au-dessus de la cheminée du bateau. Cette lumière inaccoutumée brillant sur les eaux au milieu de la nuit, attirait de loin les regards des marins qui naviguaient sur le fleuve ; on voyait avec surprise marcher contre le vent, les courants et la marée, cette longue colonne de feu étincelant dans les airs. Lorsque les marins étaient assez rapprochés pour entendre le bruit de la machine et le choc des roues qui frappaient l'eau à coups redoublés, ils étaient saisis de la plus vive terreur ; les uns, laissant aller leur vaisseau à la dérive, se précipitaient à fond de cale pour échapper à cette effrayante apparition, tandis que d'autres se prosternaient sur le pont, implorant la Providence contre l'horrible monstre qui s'avançait en dévorant l'espace et vomissant le feu.

Après ce premier voyage, le *Clermont* fut employé à un service régulier entre New-York et Albany. Ce ne fut pas cependant sans quelque difficulté que ce nouveau système de navigation parvint à s'établir sur l'Hudson. On prétendait qu'il serait préjudiciable aux intérêts du pays en nuisant au développement des constructions navales, et les bâtiments à voiles qui naviguaient sur l'Hudson endommagèrent souvent le *Clermont*, en le heurtant ou l'accostant volontairement avec l'intention de le couler. La législature de l'État de New-York fut obligée, pour mettre un terme à ces atteintes, de les considérer comme des offenses publiques punissables d'emprisonnement et d'amende.

Malgré les obstacles inévitables que rencontre toute invention nouvelle quand elle surgit au milieu d'intérêts contraires depuis longtemps établis, l'entreprise de Livingston et de Fulton acquit rapidement un haut degré de prospérité. Le 11 février 1809, Fulton obtint du gouvernement américain un brevet qui lui assurait le privilége de ses découvertes concernant la navigation par la vapeur. Pendant l'année 1811, il construisit quatre magnifiques bateaux : le plus grand, qui prit le nom du *chancelier*

de Livingston, était du port de 526 tonneaux ; il était destiné au service de New-York à Albany. En 1812, il établit deux bateaux-bacs mus par la vapeur, pour traverser l'Hudson et la rivière de l'Est. Il construisit en même temps divers autres bateaux pour le compte de quelques compagnies auxquelles il cédait les droits concédés dans son privilége. C'est ainsi que la navigation par la vapeur put s'établir en quelques années sur les diverses branches du Mississipi et de l'Ohio.

La création, aux États-Unis, de la marine à vapeur, était l'événement le plus considérable qui se fût accompli depuis la guerre de l'indépendance. Les travaux de Fulton imprimèrent une activité nouvelle au génie américain. Les divers États virent bientôt se resserrer les liens qui les unissaient. Sur les bords de plusieurs fleuves, déserts jusqu'à cette époque, des nations entières allèrent s'établir pour y défricher les terres et y fonder des villes. Les bateaux à vapeur portèrent ainsi la vie et le mouvement du commerce sur une foule de points où l'on comptait à peine quelques habitations disséminées : il est reconnu que la culture des districts de l'Ohio, du Missouri, de l'Illinois et d'Indiana fut, par cette invention, avancée de plus d'un siècle.

Terminons par quelques mots ce qui intéresse la vie de l'ingénieur illustre à qui nous devons cette découverte importante. Jusqu'en 1815, Fulton, tout en s'occupant de quelques autres recherches qui ne pouvaient suffire encore à l'activité de son esprit, se consacra à suivre les perfectionnements de ses bateaux. Il parvint à faire entrer dans ses vues le gouvernement américain, et sa carrière se termina par la création d'un véritable monument en ce genre. En 1814, dans l'éventualité d'une guerre que pourraient provoquer les difficultés survenues entre l'Angleterre et les États-Unis, le Congrès fit construire à New-York, d'après les plans de Fulton, une immense frégate mue par la vapeur et destinée à la défense du port. Ce bâtiment, dont la

construction nécessita une dépense de 1,600,000 francs, et qui fut nommé le *Fulton Ier*, avait 145 pieds de long ; il était formé de deux bateaux, séparés par un espaces de 66 pieds de long sur 55 de large; c'est dans cet intervalle, et protégée ainsi contre le feu de l'ennemi, que se trouvait placée sa roue à aubes. Un bordage de 5 pieds garantissait la machine à vapeur ; plusieurs centaines d'hommes pouvaient manœuvrer sur le pont à l'abri d'un fort rempart ; trente embrasures donnaient passage à autant de canons qui devaient lancer des boulets rouges ; des faux, mises en mouvement par la machine à vapeur, armaient les côtés du bâtiment et devaient empêcher l'abordage, tandis que de grosses colonnes d'eau froide ou bouillante, vomies par divers tuyaux alimentés par la machine à vapeur, devaient inonder ou brûler tout ce qui se trouverait sur le pont, dans les hunes et dans les sabords du navire ennemi qui s'approcherait pour l'attaquer.

Cependant Fulton ne devait pas être témoin des effets de cette forteresse flottante. Malgré le privilége exclusif de navigation que lui avait accordé la législature de New-York, il eut le chagrin de voir un grand nombre de bateaux à vapeur s'établir sur les eaux qui lui avaient été concédées. Il fut ainsi amené à soutenir beaucoup de procès pénibles. En revenant de Trenton, capitale de l'État de New-Jersey, où s'était plaidée une des causes de son associé Livingston, il se trouva surpris sur l'Hudson par des froids excessifs ; le fleuve était couvert de glaces qui arrêtèrent son bateau et l'obligèrent à demeurer exposé, pendant plusieurs heures aux rigueurs de la saison. Sir Emmet, son avocat et son ami, ayant failli périr sous les glaces, il fit des efforts inouïs pour l'arracher à la mort. Toutes ces causes réunies déterminèrent une fièvre grave, dont on réussit cependant à se rendre maître. Mais à peine en convalescence, il voulut aller surveiller les travaux de sa frégate à vapeur, et resta tout un jour exposé, sur le pont, au froid et au mauvais temps. La

fièvre le reprit avec une nouvelle violence, et l'enleva, le 24 février 1815, âgé seulement de cinquante ans.

Jamais la mort d'un simple particulier n'avait provoqué, aux États-Unis, des témoignages aussi unanimes de respect et de douleur. Les journaux qui annoncèrent l'événement parurent encadrés de noir. Les corporations et les sociétés littéraires de New-York prirent le deuil pour un certain temps, et la législature de New-York, qui siégeait alors à Albany, le porta pendant trente jours. C'est le seul exemple d'un témoignage de ce genre accordé, en Amérique, à un simple particulier qui n'occupa jamais aucune fonction publique, et ne se distingua du reste de ses concitoyens que par ses talents et ses vertus. Toutes les autorités de New-York assistèrent à son convoi, et la frégate à vapeur tira, en signe de deuil et d'honneur, pendant le passage du cortége.

CHAPITRE IV.

La navigation par la vapeur transportée en Europe. — Son établissement en France et en Angleterre. — Les bateaux à vapeur appliqués aux transports sur mer. — Navigation transatlantique.

L'Europe ne pouvait demeurer indifférente à ce qui venait de s'accomplir aux États-Unis. Si la marine à vapeur offrait à l'Amérique des avantages immenses par suite de la configuration de son territoire, les nations européennes, en raison de l'activité, de l'importance et du nombre de leurs relations mutuelles, devaient en obtenir des services non moins étendus. Notre pays fut le premier à essayer en Europe l'établissement de la navigation à vapeur. Dans l'année 1815, à la faveur de la paix, l'industrie française se proposa d'exploiter une invention dont la

priorité était reconnue comme un titre de gloire nationale. M. de Jouffroy, rentré en France, avait obtenu les bonnes grâces de la cour, qui l'avait envoyé comme commissaire dans les départements de l'Est. Profitant de la faveur royale, il fit valoir ses droits comme créateur, parmi nous, de ce nouveau genre de navigation, et il n'eut pas de peine à obtenir un brevet qui le déclarait le premier auteur de cette découverte. Une société financière ne tarda pas à s'offrir pour exécuter les plans qu'il présentait. Le comte d'Artois se déclara son protecteur, et l'on donna le nom de *Charles-Philippe* à un bateau à vapeur qui fut construit au Petit-Bercy, et lancé à l'eau, avec une certaine solennité, le 20 août 1816, pendant les fêtes qui suivirent le mariage du duc de Berry. La fortune semblait enfin sourire à la persévérance et aux talents du marquis de Jouffroy ; mais cette tardive lueur de prospérité ne fut qu'un éclair. Son privilége fut contesté judiciairement; une compagnie nouvelle, la Société Pajol, obtint un brevet et commença une exploitation rivale. Cette concurrence fut fatale aux deux entreprises. Les dépenses considérables que nécessitait la construction des bateaux à vapeur, fort mal connue parmi nous à cette époque, absorba tous les fonds des actionnaires. La compagnie de M. de Jouffroy fut ruinée, et ses concurrents ne furent guère plus heureux. M. de Jouffroy retomba dans l'obscurité d'où il était un moment sorti, de telle sorte que l'auteur des premiers essais exécutés en France de la navigation par la vapeur, fut contraint, après la révolution de juillet 1830, d'entrer aux Invalides comme ancien capitaine d'infanterie. Il y est mort du choléra en 1832, âgé de quatre-vingts ans, et ne laissant à ses fils d'autre héritage que son nom.

La marine à vapeur devait trouver dans l'industrie privée de l'Angleterre des encouragements plus efficaces : c'est dans ce pays qu'elle reçut l'impulsion considérable qui la porta au degré de perfection et de puissance qu'elle possède aujourd'hui.

Ce n'est qu'en 1812, cinq ans après le succès de Fulton aux États-Unis, que les bateaux à vapeur commencèrent à s'introduire dans la Grande-Bretagne. Un mécanicien écossais, Henry Bell, construisit, à cette époque, un bateau à vapeur qui navigua sur la Clyde; c'était la *Comète*, qui fit un service de transports entre Glascow et Greenock. Ce n'était guère là néanmoins qu'une sorte d'essai préliminaire, car ce bateau n'avait qu'une machine de la force de 3 chevaux. En raison de la nouveauté de ce moyen de navigation et de ses dangers apparents, le nombre des passagers était si restreint, que les entrepreneurs pouvaient à peine couvrir leurs dépenses. En 1815, un bateau plus puissant, construit par Henry Bell, le *Rob-Roy*, du port de 90 tonneaux, mû par une machine de la force de 30 chevaux, fit la traversée de la Clyde et de Belfast, et pendant l'automne de la même année plusieurs autres bateaux, également construits sur la Clyde, furent envoyés sur divers points d'Angleterre. En 1817, une ligne régulière, composée de l'*Hibernia* et de la *Britannia*, fut établie entre Holyhead et Dublin.

Holyhead et Dublin sont séparés par la partie de la mer d'Irlande connue sous le nom de *canal Saint-George*. C'était pour la première fois, en Europe, que les bateaux à vapeur osaient naviguer en mer. La régularité et la sûreté parfaites avec lesquelles s'accomplirent les traversées dans ces parages orageux, prouvèrent suffisamment les avantages des bateaux à vapeur pour les voyages sur mer, et leur résistance extraordinaire aux accidents de ce genre de navigation. Aussi vit-on, après cette épreuve décisive, un grand nombre de compagnies se former pour établir des services de paquebots entre divers points de la Grande-Bretagne et du continent européen. Dès ce moment la vapeur étendit chaque jour les limites de son nouveau domaine, et bientôt la mer d'Allemagne, la Méditerranée, la mer Noire, la Baltique et l'Archipel virent de magnifiques *steamers* pro-

mener sur leurs eaux le pavillon britannique. En 1829, on comptait déjà en Angleterre 331 bateaux à vapeur.

Il était naturel que l'on songeât à étendre ce mode de communication aux voyages de long cours. L'expérience trancha heureusement la question. En 1825, le steamer anglais l'*Entreprise* fit le voyage des Indes. Parti de Falmouth, ce navire, qui se servit alternativement du vent et de la vapeur, resta quarante-sept jours à aller du cap de Bonne-Espérance à Calcutta. A la même époque, un bâtiment hollandais réussit à exécuter, en se servant alternativement de ces deux moyens, le voyage d'Amsterdam à Curaçao, dans les Antilles.

Le succès de ces deux voyages fit concevoir l'espoir de traverser l'océan Atlantique par le seul secours de la vapeur. A l'Angleterre appartient l'honneur d'avoir accompli cette grande entreprise, et d'avoir réalisé le fait, longtemps regardé comme un rêve, d'exécuter le voyage d'Amérique avec des bâtiments à vapeur.

C'est en 1836 que l'on parla pour la première fois, en Angleterre, de ce projet hardi, qui rencontra dès le début de vives résistances de la part des marins et des savants. Des hommes du métier, d'une autorité incontestable, affirmaient qu'il serait impossible d'établir un service régulier de bateaux à vapeur pour la traversée de l'Océan; tout ce que l'on pouvait espérer, disait-on, c'était de passer des ports les plus à l'ouest de l'Europe aux îles Açores ou à Terre-Neuve, pour y renouveler la provision de combustible. Des raisons puissantes semblaient justifier cette prédiction décourageante. Il fallait franchir une distance d'environ 1400 de nos lieues de poste, sans trouver un seul point de relâche intermédiaire qui pût fournir aux navires un secours ou un abri. En outre, l'Atlantique est souvent agité par de violentes tempêtes, et le trajet vers le nouveau monde est coupé de nombreux courants contraires aux vaisseaux partis d'Europe, de telle sorte que ce voyage, effectué

par les navires à voiles, exige ordinairement trente-six jours. La quantité de charbon à emporter pour suffire, pendant cette longue traversée, à l'alimentation de la chaudière, semblait donc opposer à cette entreprise une difficulté insurmontable. L'exemple invoqué du steamer anglais qui avait fait, en 1825, le voyage des Indes, était loin, ajoutait-on, d'être concluant, car ce navire avait relâché au cap de Bonne-Espérance, il avait mis quarante-sept jours pour atteindre de ce point à Calcutta, et il avait fait alternativement usage de la vapeur et des voiles. On pouvait en dire autant d'un navire américain, le *Savannah*, qui avait accompli, en 1819, la traversée de New-York en Angleterre, puisqu'il avait fait usage de la voile en même temps que de la vapeur, et qu'il avait mis un retard de six jours sur la marche des navires ordinaires.

Une autre question importante se débattait entre les gens d'affaires, c'était la cherté de ce moyen de transport. Le vent qui enfle les voiles d'un vaisseau ne coûte rien, tandis que l'alimentation d'une chaudière à vapeur occasionne une dépense considérable. De plus, une machine installée à bord d'un vaisseau occupe un grand espace qui est perdu pour les marchandises, et diminue par conséquent les bénéfices du transport. La cherté du fret des bâtiments à vapeur pourrait donc difficilement, disait-on, soutenir la concurrence de la navigation à voiles.

Les savants ne se montraient pas plus favorables au nouveau projet. Un professeur de Londres, dans un ouvrage qu'il publia sur les effets de la vapeur, se livra à une série de calculs pour démontrer l'impossibilité de réussir dans cette entreprise. Il se rendit même à Bristol, et dans une des séances publiques qui furent tenues à cet effet, il déclara qu'essayer de traverser l'Atlantique avec les paquebots à vapeur, serait aussi insensé que « de prétendre aller dans la lune. »

Cependant l'industrie britannique raisonne peu ; il n'est

point d'entreprise, aussi hardie, aussi téméraire qu'elle soit, qui ne trouve en Angleterre des moyens d'exécution. Tandis que les savants dissertaient, tandis que les négociants calculaient, tandis que les hommes de mer critiquaient, des centaines d'ouvriers étaient occupés, dans les chantiers de Bristol, à construire un immense navire qui devait triompher de toutes les prophéties contraires. Au commencement de 1838, le *Great-Western* était terminé : c'était un des plus beaux, des plus élégants et des plus majestueux navires qui fussent encore sortis des chantiers de la marine britannique. Il jaugeait 1340 tonneaux, et sa longueur était de 240 pieds. Les deux machines à vapeur qu'il contenait étaient de la force de 450 chevaux. On peut se faire une idée de ses dimensions en se figurant un de nos vaisseaux de ligne de 80 canons. Outre son appareil à vapeur, il portait quatre mâts à voiles destinés à suppléer, si cela était nécessaire, à l'action de la vapeur. Les roues avaient 8 mètres et demi de diamètre, et les palettes 3 mètres et demi de longueur. On avait épuisé dans les dispositions de l'intérieur toutes les ressources de l'élégance et du luxe.

Au mois de mars 1838, la construction du *Great-Western* était terminée, et peu de temps après, sur les murs de la salle même où le professeur de Londres avait rendu ses oracles, on lisait une affiche ainsi conçue : « *Le* GREAT-WESTERN, *commandé par le lieutenant Hosken, partira de Bristol pour New-York, le 4 avril.* »

Sur cette annonce, une autre compagnie se décida à tenter la même entreprise : le *Sirius*, grand navire à vapeur jaugeant 700 tonneaux, et de la force de 320 chevaux, se disposa à essayer, en même temps que le *Great-Western*, le voyage transatlantique.

Le 5 avril 1838, le *Sirius* partit de la rade de Cork, en Irlande : c'est le port des îles Britanniques le plus rapproché

des Etats-Unis; il emportait 453 tonneaux de charbon et 53 barils de résine. Trois jours après, le *Great-Western* appareillait à Bristol pour New-York, avec 660 tonneaux de charbon; sept passagers seulement avaient osé braver les dangers du voyage. C'est alors que commença la lutte la plus étonnante dont l'Océan eût jamais été le théâtre, entre ces deux navires marchant par la seule puissance de la vapeur et cherchant à se dépasser l'un l'autre sur la vaste carrière de l'Atlantique. Le vent, qui ne cessait de souffler de l'ouest, leur opposa, pendant les premiers jours, des obstacles devant lesquels auraient reculé les plus forts navires à voiles : leur marche n'en fut pas un instant retardée. Pendant la première semaine, le *Sirius* fit peu de chemin, parce que le combustible le surchargeait; mais, à mesure qu'il s'allégea en brûlant sa houille, sa vitesse s'accrut rapidement. Le 22 avril, les deux vaisseaux couraient sous la même latitude, séparés seulement par la faible distance de 3 degrés en longitude. Enfin la victoire resta au *Sirius*, qui avait eu trois jours d'avance : dans la matinée du 23, il se trouvait en vue de New-York.

On était prévenu, dans ce port, de l'arrivée prochaine des deux bâtiments anglais; chaque jour une foule immense se pressait sur le rivage, interrogeant l'horizon. Parmi les spectateurs qui portaient avec anxiété leurs regards sur l'Océan, se trouvaient quelques vieillards qui avaient été témoins autrefois du départ de la *Folie-Fulton*, et qui, racontant à leurs amis comment avaient été trompées à cette époque toutes les prévisions et toute la sagesse des temps passés, annonçaient avec un chaleureux espoir la prochaine venue des envoyés de l'ancien monde. Enfin, le 23 au matin, on vit poindre à l'extrémité de l'horizon une légère colonne de fumée; peu à peu elle se dessina plus nettement, et le corps tout entier du navire parut sortir des profondeurs de la mer : c'était le *Sirius* qui arrivait d'Angleterre après une traversée de dix-sept jours. Il franchit les

passes et entra dans la baie de New-York, faisant flotter sur ses mâts les pavillons réunis d'Angleterre et d'Amérique. Quand il pénétra dans la rade, les batteries de l'île Bradlow le saluèrent de vingt-six coups de canon, et aussitôt les eaux se couvrirent de milliers de bateaux partant à la fois de toutes les directions. Les navires du port se pavoisèrent de leurs pavillons aux mille couleurs, le carillon des cloches se mêla au bruit retentissant de l'artillerie, et toute la population de New-York, rassemblée sur les quais, salua de ses acclamations d'enthousiasme le *Sirius* laissant tomber au fond de l'Hudson la même ancre qui avait mouillé dix-sept jours auparavant dans un port d'Angleterre.

L'émotion des habitants de New-York avait eu à peine le temps de se calmer, que le *Great-Western* se montrait à son tour. Arrivant avec toute la vitesse de sa vapeur, il vint se ranger à côté de son heureux rival. Le *Sirius* fit entendre trois cris de victoire à l'entrée du *Great-Western;* les batteries de la ville le saluèrent d'une salve d'artillerie à laquelle il répondit par le salut de son pavillon, tandis que tout son équipage, réuni sur le pont, portait la santé de la reine d'Angleterre et du président des États-Unis : « Comme nous approchions du quai, rapporte le journal d'un des passagers du *Great-Western*, une foule de bateaux chargés de monde s'amassèrent autour de nous. La confusion était inexprimable; les pavillons flottaient de toutes parts; les canons tonnaient et toutes les cloches étaient en branle. Cette innombrable multitude fit retentir un long cri d'enthousiasme qui, répété de loin en loin sur la terre et sur les bateaux, s'éteignit enfin et fut suivi d'un intervalle de silence complet qui nous fit éprouver l'impression d'un rêve. »

Quelques jours après, les deux navires quittaient New-York pour revenir en Europe. Cette seconde épreuve eut le même succès. Le *Sirius* arriva à Falmouth, après un voyage de dix-huit jours et sans aucune avarie. Le *Great-Western*, parti de

New-York le 7 mai, arriva à Bristol après quinze jours de traversée; il avait eu à supporter plusieurs jours de vents contraires, et dans le cours d'une violente tempête, il n'avait pu faire que deux lieues à l'heure.

Le problème de la navigation transatlantique par la vapeur fut pleinement résolu par ces deux mémorables voyages, et peu de temps après le gouvernement confiait au *Great-Western* le transport régulier de ses malles et des voyageurs. Le *Sirius*, qui fut trouvé trop faible pour le service de l'Atlantique, fut rendu à son ancienne navigation de Londres à Cork. Le *Great-Western* continua avec le plus grand bonheur son service à travers l'Océan. Depuis 1838 jusqu'à 1844, il fit trente-cinq voyages d'Angleterre aux États-Unis, et revint autant de fois à son point de départ. La durée moyenne de sa traversée était de quinze jours et demi pour arriver à New-York, et de treize jours et demi pour en revenir. Son voyage le plus rapide a été accompli en mai 1843; il n'exigea que douze jours et dix-huit heures, c'est-à-dire un tiers à peu près de la durée moyenne de ce voyage par les navires à voiles. Son plus prompt retour en Europe eut lieu en mai 1842 : il se fit en douze jours et sept heures.

Plusieurs autres bâtiments à vapeur, parmi lesquels il en était un d'un port supérieur à celui du *Great-Western*, ont été consacrés, en Angleterre, à la navigation sur l'Atlantique. Le *Royal-William* fut le premier en date, mais il reçut au bout de quelque temps une autre destination. Vinrent ensuite la *Reine-d'Angleterre*, le *Président* et le *Liverpool;* chacun de ces trois navires, construit sur les plus grandes proportions, avait coûté 2,500,000 francs. Le premier, après plusieurs traversées, fut acheté par le gouvernement belge; on sait que le *Président* périt en mer, corps et biens, en 1841; quant au *Liverpool*, il fut brisé sur la côte d'Espagne pendant son service de Southampton à Alexandrie.

Le plus grand des navires à vapeur construits par la marine britannique, a été lancé, en 1843, dans les chantiers de Bristol. Ce fut le premier essai, au moins sur d'aussi grandes proportions, d'un bâtiment à vapeur dans lequel le fer fût partout substitué au bois et les roues à aubes remplacées par l'hélice. Ce magnifique bâtiment, qui eut pour parrain le prince Albert, fut nommé le *Great-Britain*. Il avait 98 mètres de longueur sur 15 1/2 de large. Sa machine était de la force de 1000 chevaux. Il ne répondit pas cependant aux hautes espérances qu'il avait fait concevoir. Après avoir reçu sa machine, son tirant d'eau se trouva si considérable qu'il ne put franchir l'entrée du bassin de Liverpool, et il demeura longtemps prisonnier dans l'enceinte même où il avait été construit. Il fallut pour l'en délivrer toute l'habileté des meilleurs ingénieurs de l'Angleterre. Il avait cependant accompli plusieurs fois avec succès le voyage d'Amérique, lorsque sa carrière se trouva soudainement interrompue. Le capitaine du *Great-Britain*, par suite d'une erreur de navigation, le jeta sur la côte d'Irlande ; il demeura pendant tout l'hiver de 1846, échoué dans la baie de Dundrum. Ce n'est qu'avec les plus grandes difficultés que l'on parvint à remorquer cet énorme navire à travers la mer d'Irlande, jusqu'au bassin de Liverpool où il a offert pendant plusieurs années un assez triste spectacle.

La France ne devait pas rester longtemps en arrière du mouvement rapide imprimé en Europe à la navigation par la vapeur. On a vu que dès l'année 1816, à l'époque où la marine à vapeur commençait à recevoir en Angleterre ses premiers développements, on avait essayé de l'établir parmi nous. Mais la route était alors à peine tracée, nos mécaniciens avaient échoué dans cette entreprise. La compagnie Jouffroy, la société Pajol, en voulant tout créer de leurs propres mains, sans demander à l'étranger ni modèles à suivre, ni exemples à méditer, n'avaient obtenu qu'une demi-réussite. Ces tentatives

furent reprises, six ans après, dans un plus sage esprit. La marine à vapeur se trouvait, aux États-Unis, dans une situation florissante, on prit le parti d'aller chercher des leçons dans ces contrées. En 1822, le ministre de la marine envoya dans le nouveau monde un ingénieur d'un grand mérite, M. Marestier, avec mission de prendre sur les lieux une connaissance détaillée et complète des travaux exécutés en ce genre dans les divers États de l'Union. Un savant capitaine de frégate, M. de Montgery, reçut en même temps l'ordre de se rendre, avec le bâtiment qu'il commandait, dans les divers ports de l'Amérique, et d'y étudier les bateaux à vapeur sous le rapport de leur service nautique et militaire. L'importante mission confiée à M. Marestier porta tous les fruits que l'on attendait de l'expérience et des talents de cet ingénieur. Le travail remarquable qu'il présenta en 1823 à l'Académie des sciences de Paris, sous le titre de : *Mémoire sur les bateaux à vapeur des États-Unis d'Amérique*, fit connaître avec les plus grands détails l'état, à cette époque, de la marine à vapeur dans les diverses contrées du nouveau monde. L'auteur concluait que ce nouveau système de navigation offrait assez d'avantages pour que l'on en décidât l'adoption immédiate sur les mers et sur les rivières de l'Europe. Les formules pratiques et les renseignements contenus dans cet ouvrage fournirent les moyens de construire dans nos usines des bâtiments à vapeur offrant toutes les qualités de ceux qui naviguent dans les parages de l'Amérique.

Cependant les bâtiments à vapeur sortis de nos chantiers présentaient encore beaucoup d'imperfections dans la disposition des machines, et dans les rapports qui doivent exister entre la puissance de la vapeur et la forme ou le port des navires. Cette partie des constructions navales avait au contraire fait en Angleterre des progrès très étendus. Un ingénieur de la marine française, M. Hubert, fut donc envoyé à Liverpool, pour y faire construire une machine de 160 chevaux, destinée

à servir de modèle à celles que le gouvernement se proposait d'établir sur les bâtiments de l'État. L'étude des belles machines du *Sphinx*, sorties des ateliers de M. Fawcet, amena de très importantes améliorations dans notre marine à vapeur. A partir de l'année 1830, le navire et les machines du *Sphinx* furent adoptés comme type dans les constructions de la marine militaire. Les usines royales d'Indret et celles de l'industrie privée permirent dès lors à la France de se passer du secours des ateliers anglais, et les beaux navires à vapeur qui furent affectés peu de temps après au service des transports entre la France et l'Algérie montrèrent toute la perfection que l'on pouvait atteindre parmi nous dans cette branche nouvelle de l'industrie.

Nous terminerons là l'histoire de la création et des perfectionnements successifs de la navigation par la vapeur. Faire connaître son état présent dans les diverses contrées de l'Amérique et de l'Europe, donner le dénombrement des pyroscaphes qui promènent sur les fleuves et sur les mers des deux hémisphères la puissance de la vapeur, serait une tâche qui offrirait peu d'utilité et surtout peu d'exactitude, puisque ces éléments, dans les divers pays, varient d'un jour à l'autre. Entre New-York et Albany, dans les parages de l'Hudson, où Fulton lança son premier bateau, il existe aujourd'hui plus de soixante paquebots à vapeur faisant le même trajet. Les lacs et les grands fleuves de l'Amérique sont sillonnés chaque jour d'un nombre immense de steamers, et sur le seul lac Érié on en trouve plus de quarante. Sur le Mississipi, où il n'existait pas, il y a vingt ans, une seule ligne régulière, on compte aujourd'hui trois cents pyroscaphes. D'après un rapport officiel, l'Union américaine possédait en 1835, 800 bateaux à vapeur. Aujourd'hui la marine à vapeur du commerce, aux États-Unis, se compose de 1,390 bâtiments, dont 625 sont affectés à la navigation maritime à l'extérieur, et 765 desservent les lacs et

les fleuves de l'intérieur. Pendant l'année 1851, on a construit dans la seule ville de New-York 50 navires à vapeur, et le nombre des passagers transportés, dans le cours de la même année, par les steamers de l'intérieur de l'Union, a été de 5,860,850. La totalité des steamers anglais s'élevait, en 1840, à 776, dont 484 étaient des bateaux de rivières et de petits caboteurs; et 282 des bâtiments employés aux longues traversées. Aujourd'hui l'Angleterre possède plus de 1,000 bâtiments à vapeur. Ces chiffres suffisent pour montrer toute l'étendue des services que rend au commerce, à l'industrie, aux besoins des nations de notre époque, cette admirable application de la vapeur, dont la découverte réunira dans l'admiration commune de la postérité les noms de Papin, de Fulton et de Watt.

CHAPITRE V.

Machines à vapeur employées à bord des bateaux et des navires. — Chaudières. — Moyens de propulsion. — Les roues à aubes. — L'hélice.

Les détails dans lesquels nous sommes entré relativement aux divers systèmes de machines à vapeur en usage dans l'industrie nous dispenseront de nous étendre sur la description des machines de ce genre consacrées au service de la navigation. Aucune différence importante n'existe, en effet, entre les machines fixes établies dans les usines et celles qui fonctionnent à bord des navires ou des bateaux de rivière. La seule particularité à noter, c'est que, sur un bateau muni de roues, on emploie toujours deux machines à vapeur au lieu d'une seule. Ajoutons que dans l'espace étroit réservé au mécanisme, on ne pourrait facilement établir le volant qui sert dans les

machines fixes à régulariser le mouvement. On arrive au même résultat en faisant usage de deux machines à vapeur distinctes qui viennent agir, chacune, sur l'arbre tournant auquel sont fixées les roues. Les manivelles de l'arbre de chaque machine sont disposées à angle droit l'une sur l'autre, de telle sorte que lorsque l'une d'elles est au point le plus avantageux de sa course, l'autre se trouve au point le plus désavantageux, au *point mort*, comme on le dit en mécanique, ce qui assure la continuité et la régularité de la rotation de l'arbre.

Le système des machines à vapeur appliquées à la navigation varie fort peu. La machine de Watt, c'est-à-dire la machine à condenseur et à basse pression, est à peu près exclusivement adoptée. En Angleterre, en Hollande, en Belgique, dans une partie des États-Unis, en France, pour la marine de l'État, la machine à condenseur et à basse pression, c'est-à-dire à la pression d'une atmosphère ou d'une atmosphère et quart, est la seule en usage. Aucune description nouvelle ne sera donc nécessaire pour faire connaître les dispositions mécaniques qui permettent d'appliquer la puissance de la vapeur à la navigation. La seule différence à signaler entre les machines à basse pression de nos usines et celles des bateaux ou des navires, se rapporte à la place occupée par le balancier. Dans les bateaux, où l'espace a besoin d'être ménagé, on ne pourrait établir sans beaucoup d'inconvénients le haut et volumineux balancier qui, dans la plupart des machines fixes, s'élève au-dessus du cylindre ; on le dispose donc au-dessous, à l'aide d'une tige articulée qui sert de moyen de renvoi. Le balancier, ainsi placé à la partie inférieure du mécanisme, produit le même effet que produit, dans les machines fixes, le balancier situé à leur partie supérieure. Si donc on se représente une machine à vapeur à condensation, telle qu'elle est figurée page 162, mais dans laquelle le balancier, au lieu de se trouver installé au-dessus du cylindre, soit disposé au-dessous, on aura

une idée suffisamment exacte de la plupart des machines qui servent à la navigation. Quelques différences peu importantes se remarquent seulement, selon les formes du bateau, dans les dispositions et dans l'installation des différentes pièces du mécanisme. Comme le fait remarquer avec raison un savant ingénieur de la marine, M. Hubert : « Cette uniformité dans les points principaux n'est pas le résultat d'une aveugle routine, ainsi qu'on pourrait le supposer, mais d'un grand nombre d'expériences dirigées par l'intérêt particulier, dans le but de trouver les moyens économiques qui conviennent le mieux au service de la mer. »

On comprend difficilement, au premier aperçu, les motifs qui pourraient dicter l'adoption des machines à haute pression sur les bateaux. Les eaux affluentes fournissant toute la quantité d'eau nécessaire à la condensation de la vapeur, il paraît absurde de songer à se servir, sur les fleuves ou les mers, de machines sans condenseur. Cependant on voit en Amérique, sur les eaux de l'Ouest, quelques bateaux mis en mouvement par des machines à haute pression sans condenseur. Leur emploi ne s'explique que par les nécessités spéciales du service de ces paquebots. Ils n'ont en général à accomplir qu'un trajet très court, et une grande vitesse est pour eux la condition du succès. La machine à haute pression offrant, sous un faible volume, une puissance motrice considérable, présente, dans ce cas particulier, certains avantages, et ce n'est que dans de telles conditions que l'on peut comprendre l'emploi d'une machine qui fait perdre le bénéfice de la force motrice d'une atmosphère.

Mais si la machine à haute pression n'offre que peu d'avantages, sous le rapport économique, quand on laisse la vapeur se perdre librement dans l'air, elle présente, au contraire, des conditions très précieuses lorsque la vapeur à haute pression, au lieu d'être rejetée dans l'atmosphère, est soumise à la condensation. Nous avons vu que l'industrie a tiré un parti des

plus heureux de la combinaison de ces deux systèmes, et que dans plusieurs machines fixes qui fonctionnent dans nos usines, on emploie de la vapeur à haute pression que l'on condense après qu'elle a produit son effet. On réunit ainsi le double bénéfice de la puissance motrice considérable dont jouit la vapeur à haute tension, et celui qui résulte de sa condensation. Cette alliance des deux systèmes, que l'industrie a réalisée avec tant d'avantages, a été mise à profit pour la navigation. Une partie des bateaux à vapeur qui parcourent nos fleuves portent des machines qui sont à la fois à haute pression et à condenseur; la vapeur y fonctionne avec une tension qui va de trois à quatre atmosphères.

Cependant, ayons bien soin de remarquer que les navires ne font jamais usage de ce système combiné, et voici le motif de cette exclusion. Si le niveau de l'eau venait accidentellement à s'abaisser dans la chaudière, les parois du métal ne tarderaient pas à rougir par suite de la température excessivement élevée que présente le foyer lorsqu'il sert à produire de la vapeur à haute pression. Or, si dans ce moment, le roulis du navire projetait une partie de l'eau de la chaudière contre ces parois rougies, l'explosion serait à craindre. C'est pour ce motif que les machines à haute pression sont proscrites sur les navires et réservées aux bateaux qui suivent le cours tranquille des rivières ou des fleuves.

La puissance des machines à vapeur varie selon le port des bateaux ou des navires. Ces deux termes sont assujettis au principe suivant généralement adopté : la force de la machine à vapeur doit être d'un cheval pour un port de deux tonneaux sur les bateaux de rivière, et sur les navires, d'un cheval pour un port de quatre tonneaux.

Si les machines à vapeur qui servent à la navigation, ressemblent presque en tout point, sous le rapport du mécanisme, aux machines fixes de nos usines, elles en diffèrent beaucoup

en ce qui concerne la construction et la disposition de la chaudière et du foyer. On comprend, en effet, que l'agitation continuelle de la chaudière, par suite du roulis ou du mouvement des vagues, doit entraîner la nécessité de dispositions spéciales pour le générateur. Indiquons rapidement les formes principales adoptées aujourd'hui pour la construction des chaudières de bateaux.

Les chaudières des bateaux qui font usage de machines à basse pression présentent une forme prismatique ; elles sont analogues, par leur aspect, aux chaudières de Watt, que l'on désigne sous le nom de *chaudières à tombeau*. Mais elles en diffèrent en ce qu'elles sont partagées à l'intérieur en un certain nombre de compartiments ou cloisons qui ont pour effet d'arrêter et de maintenir la masse du liquide qui s'y trouve contenu, lorsque le bâtiment vient à s'incliner sur son axe par l'effet du mouvement de la mer. De plus on les fait traverser par un certain nombre de larges conduits métalliques par lesquels s'échappe l'air chaud qui s'élève du foyer. Par cet artifice, l'eau se trouve soumise par une plus grande surface à l'action du feu, et elle donne ainsi naissance, dans le même temps, à une quantité beaucoup plus considérable de vapeur.

Dans les machines à haute pression employées sur les bateaux, la vapeur est produite par des chaudières à bouilleurs analogues à celles des machines fixes ; seulement le nombre des bouilleurs est plus grand. Ajoutons que depuis quelques années on commence à adopter, pour le service des bateaux et des navires, les chaudières dites *tubulaires* qui, dans un espace de temps très court, produisent une quantité de vapeur prodigieuse. Ces chaudières se composent d'une grande capacité à peu près prismatique, traversée par un nombre considérable de tubes étroits, dans l'intérieur desquels vient circuler l'air chaud ou la flamme arrivant du foyer, et qui donnent ainsi à la surface de chauffe une étendue extraordinaire. Nous aurons

occasion de parler avec plus de détails de ce genre de chaudières dans l'histoire des chemins de fer.

Cependant la force qu'il faut développer pour mettre en mouvement sur les eaux la masse énorme d'un navire, est si considérable, qu'une chaudière présentant les dispositions précédentes serait encore insuffisante pour produire la quantité de vapeur nécessaire au jeu de la machine. Or, comme on ne peut étendre au delà de certaines limites les dimensions des chaudières, on est contraint d'en employer deux pour chacune des machines; et comme, d'autre part, un bateau est toujours mis en action par deux machines, on voit que l'on est conduit à employer sur un navire quatre générateurs de vapeur. Ces quatre chaudières sont adossées deux à deux l'une contre l'autre, et installées dans la cale du navire, dont elles occupent la plus grande partie. Les deux machines à vapeur qu'elles alimentent sont disposées au-dessus.

Les chaudières des navires présentent une particularité que n'offrent point celles des bateaux de rivière. Elles sont naturellement alimentées par l'eau de la mer ; or, cette eau tient en dissolution une quantité considérable de substances salines, et son évaporation dans le générateur donne promptement naissance à un dépôt abondant de sel marin. Les moyens employés dans les machines des usines pour prévenir la formation des dépôts terreux, resteraient ici sans efficacité. On sait que dans les machines alimentées par de l'eau douce, certains corps étrangers placés dans la chaudière suffisent pour prévenir la formation des incrustations terreuses; cette précaution serait complétement insuffisante avec l'eau de la mer qui tient en dissolution une quantité de sels énorme, puisqu'elle s'élève à 32 grammes par litre. Comme il serait impossible de s'opposer à la précipitation de ces substances, on est contraint de remplacer l'eau du générateur lorsqu'elle a atteint le degré de concentration auquel elle commence à fournir du sel. C'est dans

ce but que les chaudières des navires sont pourvues d'une pompe, dite *à saumure*, destinée à rejeter à la mer l'eau qui a subi un commencement de concentration. Cette pompe est mise en mouvement, terme moyen, une fois par heure; elle vient puiser l'eau dans les parties inférieures de la chaudière, parce que c'est dans ce point que se réunit, en raison de sa pesanteur spécifique, l'eau la plus chargée de sels. Il existe une pompe à saumure, dite de *Maudslay*, du nom du fabricant qui l'a imaginée; son mécanisme et ses dimensions sont calculés de telle sorte qu'elle extrait de la chaudière un volume d'eau contenant précisément la quantité de sels existant dans le volume d'eau apporté dans le même temps au générateur par le tuyau de la pompe alimentaire. On appelle *faire l'extraction*, dans les bateaux de mer, l'opération qui consiste à évacuer ainsi, d'heure en heure, l'eau concentrée et chargée de sels qui existe dans le générateur. Pour utiliser une partie de la chaleur emportée par cette eau, on la dirige hors du navire, par un tuyau métallique qui se trouve environné lui-même d'un second tube par lequel arrive l'eau d'alimentation. Par cette disposition, l'eau qui entre dans la chaudière s'échauffe aux dépens de celle qui est rejetée, et lorsqu'elle s'y introduit, elle se trouve déjà en partie échauffée, ce qui procure une certaine économie de combustible.

Passons aux moyens qui sont mis en usage pour appliquer à la progression des bateaux les machines à vapeur dont nous venons de parler.

Un grand nombre de systèmes ont été employés jusqu'à ce jour comme moyen de propulsion sur les bateaux à vapeur. Le *système palmipède*, qui consiste à faire usage de rames s'ouvrant et se fermant à volonté, a été, comme nous l'avons vu, essayé l'un des premiers. A l'origine de la navigation par la vapeur, il était naturel que l'on cherchât à imiter le mécanisme des rames ordinaires mises en mouvement par la main

des hommes. Le bateau palmipède du marquis de Jouffroy, qui navigua sur la Saône en 1783, fut la réalisation de cette idée. Elle a été reprise à notre époque par le fils du marquis de Jouffroy; mais l'expérience a montré, ce que la théorie permettait d'ailleurs de pressentir, que l'action mécanique intermittente qui résulte du mouvement alternatif des rames, ne peut l'emporter, dans aucun cas, sur l'effet continu que procurent les roues à aubes. Le *système Bernoulli*, qui consiste à refouler à l'arrière des masses d'eau puisées à l'avant, et à faire avancer le bateau par la réaction qui résulte du refoulement de l'eau sous la quille, avait échoué plusieurs fois en Angleterre et aux États-Unis. De nouvelles expériences exécutées récemment en France n'ont pas donné des résultats plus heureux. Les *chaînes sans fin* munies de palettes, et destinées à former comme une sorte de longue roue occupant une grande partie de la longueur du bateau, furent essayées en France par Desblancs et par Fulton; l'expérience démontra toute l'insuffisance de ce moteur pour atteindre la vitesse exigée. Quelques autres systèmes, fondés sur des principes moins sérieux que les précédents, ont été soumis de nos jours à un grand nombre d'essais qui sont restés infructueux. En définitive, les seuls agents propulseurs dont l'expérience ait mis hors de doute les avantages sont les roues à aubes et l'hélice. Étudions-les rapidement.

Les *roues à aubes* employées dans la navigation par la vapeur, sont toujours au nombre de deux; on les dispose de chaque côté et un peu en avant du centre de gravité du bateau. Elles portent, à leur circonférence, un certain nombre d'*aubes* ou *palettes* de bois, attachées par des crochets de fer aux rayons de moyeux de fonte fixés sur l'arbre tournant de la machine à vapeur. Le nombre des aubes varie suivant la circonférence de la roue; il doit être tel qu'il y en ait toujours trois d'immergées : elles doivent plonger de 8 à 10 centimètres dans l'eau.

Leur surface est d'autant moins grande que le bateau est destiné à une marche plus rapide. La vitesse imprimée aux roues à aubes par la machine à vapeur, doit être supérieure à celle du bateau qu'elles font mouvoir, puisque, avançant elles-mêmes avec le bateau, elles ne peuvent agir qu'en vertu de la différence des deux vitesses. L'expérience a établi que, pour qu'elle réalise le maximum d'effet, la vitesse des aubes doit être d'environ un quart supérieure à celle du bateau.

Les roues des premiers *steamers* furent presque en tout semblables à celles que nous voyons fonctionner dans les usines hydrauliques. On les installait en différentes positions, mais presque toujours latéralement, à un tiers de la longueur du navire en partant de l'avant. En Amérique, et plus tard en France, sur la Saône et sur la Seine, on vit des bateaux à vapeur dont les roues se trouvaient placées tout à fait à l'arrière. Cette disposition ne faisait rien perdre de l'effet utile du moteur, et le bateau, diminué de toute la largeur des tambours qui environnent la roue, franchissait plus aisément les passages étroits et le chenal des rivières, souvent très rétréci dans les basses eaux. On s'est également servi d'une roue unique, placée au milieu du bateau qu'elle divisait ainsi en deux. A l'époque des premiers essais de navigation par la vapeur, ce mode d'installation de la roue fut essayé en Écosse. C'est encore de cette manière que se trouvait placée l'immense roue à aubes de la frégate de guerre *le Fulton Ier*, construite par Fulton pour la défense du port de New-York. Mais ce système d'installation de la roue ne constitue aujourd'hui qu'une exception des plus rares ; il ne présenterait d'avantages que dans le cas où la voie navigable serait d'une très petite largeur, comme dans les canaux, sur lesquels les bateaux à vapeur n'ont pu s'introduire encore en raison des dommages que fait éprouver aux bords de ces voies artificielles l'agitation des eaux causée par le mouvement des roues.

A mesure que les bâtiments à vapeur se multiplièrent, on reconnut divers inconvénients aux moyens trop simples que l'on avait adoptés pour la disposition des roues. Chaque palette d'une roue n'agit avec tout son effet utile que lorsqu'elle est perpendiculaire au liquide qu'elle frappe. En entrant dans l'eau et en se relevant pour en sortir, elle n'exerce son action que suivant une ligne oblique; elle perd ainsi une partie de sa force qui se trouve employée sans utilité à pousser le liquide en avant quand elle s'enfonce, ou à le projeter en arrière quand elle se relève. Ces pertes de force s'accroissent avec la vitesse imprimée aux roues.

Pour remédier à la perte de force qui résulte du soulèvement de l'eau au moment où la palette sort du liquide, on a imaginé différents systèmes qui se réduisent tous à rendre les aubes mobiles sur leur axe, de manière à les obliger d'entrer dans l'eau et d'en sortir sous une inclinaison toujours avantageuse à l'effet moteur. Un système de ce genre, imaginé par M. Cavé, a été adopté en France sur plusieurs navires de la marine militaire. Des bielles et un excentrique font pivoter chacune des aubes, de manière à les maintenir dans une situation verticale pendant toute la durée de leur immersion, et à leur donner, au moment de leur sortie du liquide, une position horizontale, afin qu'elles présentent à l'air le moins de résistance possible. Outre son avantage pour l'accroissement de l'effet moteur, cet ingénieux mécanisme permet d'éviter aux roues, et par suite aux machines, les violentes secousses que provoque le choc des lames lorsque celles-ci viennent frapper les roues du bateau à l'instant de leur sortie du liquide. En Angleterre, on fait usage, pour atteindre le même but, d'un système particulier que l'on désigne sous le nom de *système Morgan*. Il est fondé sur les mêmes principes que celui de M. Cavé. Mais nécessitant un mécanisme très compliqué, il est sujet à beaucoup de dérangements. Les frottements qui résul-

tent du grand nombre d'engrenages qu'il exige, absorbent une force presque aussi considérable que celle dont on cherche à éviter la perte.

Les roues à aubes constituent un moyen à peu près irréprochable pour appliquer la puissance de la vapeur à la navigation sur les fleuves ou les rivières ; mais elles présentent des inconvénients très graves dans la navigation sur mer. Le roulis du navire a souvent pour effet d'élever une des roues hors de l'eau en immergeant la roue opposée ; dès lors la roue la plus élevée tourne à vide, ce qui produit des variations très nuisibles à la machine. Comme la résistance ne s'exerce plus que sur l'une des roues, on est obligé d'affaiblir l'intensité de la force motrice en diminuant l'entrée de la vapeur dans les cylindres, et la force de la machine se trouve ainsi atténuée au moment où, au contraire, son maximum d'effet serait souvent nécessaire. En outre, le tambour qui environne les roues offre une large surface à l'action du vent, ce qui rend le navire mauvais marcheur. Sur les navires de guerre, les roues sont librement exposées à l'atteinte des boulets, et cette circonstance suffit pour leur ôter presque toute valeur au point de vue militaire. Enfin les roues sont un obstacle à ce que l'on puisse se servir à la fois de la vapeur et des voiles, car l'emploi de la vapeur exige que le bâtiment se maintienne toujours à peu près dans une ligne verticale ; or les voiles ont pour résultat de le faire incliner sur son axe, ce qui met obstacle à l'action régulière de la machine.

La pratique mit promptement en évidence les inconvénients qui résultent de l'emploi des roues à aubes dans la navigation maritime. Aussi depuis l'adoption générale de la vapeur comme agent de propulsion nautique, un grand nombre de mécanismes différents furent-ils proposés pour remplacer les roues. Cependant aucun d'eux n'avait fourni de résultats satisfaisants, et la supériorité des roues semblait une question définitive-

ment jugée, lorsque, en 1839, un constructeur anglais, M. Smith, appliqua à un navire à vapeur une *hélice* ou *vis d'Archimède*, comme moyen de propulsion. Les résultats remarquables fournis par ce nouveau moteur excitèrent au plus haut degré l'attention des hommes de l'art, et des expériences ultérieures ayant confirmé ces premiers résultats, ce système n'a pas tardé à devenir d'un emploi à peu près général dans la navigation maritime.

En quoi consiste l'hélice employée comme agent moteur des navires, et comment peut-on, en théorie, se rendre compte de ses effets? L'hélice n'est autre chose que la vis ordinaire, et la théorie de son action est la même que celle de ce dernier instrument (1). Concevons que l'on dispose horizontalement à l'avant d'un bateau et dans le sens de sa longueur, une vis pouvant tourner librement sur son axe ; si l'on engage l'extrémité de cette vis dans un écrou fixe, maintenu dans une position invariable par rapport au sol environnant, quand on viendra à imprimer à la vis un mouvement rapide de rotation, elle avancera dans l'écrou et entraînera par conséquent le bateau auquel elle est fixée. L'hélice de nos bateaux fonctionne de la même manière, seulement l'écrou fixe est remplacé par l'eau. Quand on fait tourner une hélice au milieu de l'eau avec une grande rapidité, l'eau environnante se trouve mise en mouvement avec la même vitesse, et par suite de la réaction qu'elle exerce sur les faces inclinées de l'hélice, elle imprime au bateau un mouvement de progression qui est d'autant plus rapide que l'hélice tourne plus vite.

L'idée d'appliquer la vis d'Archimède à la navigation est déjà

(1) L'invention de la vis est attribuée à Architas, qui vivait cent ans avant J.-C. ; il est cependant probable qu'elle est d'une origine plus ancienne. Archimède revêtit la vis d'une enveloppe et la consacra à l'élévation des eaux. On sait que ce moyen fut employé en Égypte pour le desséchement des terrains.

fort ancienne. Rappelons en quelques mots les tentatives nombreuses qui ont été faites jusqu'à nos jours dans cette direction.

Pendant les nombreuses expériences que Du Quet fit à Marseille et au Havre de 1687 à 1693, sur les agents de propulsion propres à remplacer les rames, il ne manqua pas d'étudier la vis d'Archimède; mais il ne put en retirer aucun résultat a va ntgeux.

En 1768, un ingénieur français nommé Paucton, proposa, dans un ouvrage sur la théorie de la vis d'Archimède, de remplacer les rames par des hélices. Il proposait de placer deux hélices (qu'il nommait *ptérophores*) à l'arrière et de chaque côté du navire, dans une situation horizontale et dans le sens de sa longueur. Paucton fait ressortir, dans son livre, les inconvénients qui résultent, pour l'emploi de la force motrice, du mouvement alternatif des rames, et il essaie de démontrer que des hélices disposées sous la quille donneraient des résultats bien supérieurs. Cependant les idées de Paucton ne frappèrent que médiocrement l'attention.

En 1777, l'Américain David Bnshnell avait adapté une hélice au bateau-plongeur dont il est l'inventeur. Ce bateau s'enfonçait en se remplissant d'eau ; pour remonter à la surface, on évacuait cette eau à l'aide d'une pompe aspirante. Pour diriger sous l'eau son embarcation, Bushnell employait un aviron en forme de vis, qu'il plaçait horizontalement sous la quille ; cette sorte d'hélice faisait marcher le bateau d'avant en arrière. Un second aviron placé verticalement à la partie supérieure du bateau régularisait son immersion et le maintenait à la hauteur désirée, indépendamment de la quantité d'eau admise dans le réservoir. Ce moyen de direction fut plus tard imité par Fulton, dans ses embarcations submersibles.

La découverte de la navigation par la vapeur vint donner beaucoup d'intérêt aux travaux exécutés jusqu'à cette époque sur l'hélice. Un grand nombre d'essais nouveaux furent entre-

pris dans cette direction. La plupart de ces recherches, restées sans résultat pratique, ont peu d'importance aujourd'hui, et nous les passerons sous silence.

Cependant, parmi ces tentatives demeurées sans résultat, et qui furent entreprises au commencement de notre siècle, pour appliquer l'hélice à la navigation, il en est une qui, à divers égards, mérite d'être distinguée. Nous voulons parler des essais faits à Paris en 1803, par Charles Dallery. L'histoire ne doit pas exclusivement ses hommages aux génies heureux que le succès couronne. Ceux qui ont préparé le triomphe d'une œuvre utile à l'humanité ont droit aussi à notre reconnaissance, et l'intérêt que leur souvenir éveille est, en quelque sorte, plus tendre : il nous appartient de consoler leur mémoire du triste concours de circonstances qui paralysa leurs efforts. Donnons un souvenir, le jour de la récolte, au laboureur ignoré qui traça le sillon pénible et ne vit point fleurir la moisson.

Entre ces inventeurs malheureux dont les efforts se sont brisés devant le hasard et l'inopportunité des temps, Charles Dallery, né à Amiens le 4 septembre 1754, mort à Jouy en 1835, mérite d'occuper une place à part. Créateur de plusieurs inventions remarquables, il fut toujours méconnu pendant sa vie et resta ignoré vingt années après sa mort. Ce ne fut point le génie qui lui manqua, mais seulement cet assemblage fortuit de circonstances que Dieu tient en ses mains et que nous appelons le bonheur.

Fils d'un constructeur d'orgues de la ville d'Amiens, Charles Dallery était, à dix ans, le meilleur apprenti de son père. A douze ans, il fabriquait des horloges de bois d'une précision admirable et possédait à fond l'art compliqué de la fabrication des orgues d'église. Son intelligence mécanique cherchait partout des occasions de s'exercer. Une harpe s'étant rencontrée sous sa main, il adapta à cet instrument un mécanisme propre à exécuter les demi-tons. S'étant rendu à Paris, il soumit

l'instrument ainsi modifié au facteur le plus en vogue. Celui-ci accueille avec empressement la découverte et place le jeune Dallery à la tête de ses ateliers. Ainsi perfectionnée, la harpe détrône bientôt l'antique clavecin et fixe la mode pour longtemps. Un brevet d'invention fut pris, mais ce fut au nom du fabricant, et le jeune mécanicien, éconduit, dut reprendre le chemin de sa province.

Là, il donna un libre cours à son ardeur créatrice. Il perfectionna la fabrication des orgues et établit le système de soufflerie qui est aujourd'hui appliqué partout. Il apporta aussi d'utiles changements au clavecin. Quand la fièvre des aérostats s'empara de la France, c'est à lui que la cité Amiennoise dut le spectacle des premières ascensions. Vers l'année 1780, il construisit une machine à vapeur, et pour son premier essai il employa la haute pression. Il ne se proposait rien moins que d'installer cette machine sur une voiture et de l'appliquer à la locomotion sur les routes. Mais cette pensée était trop hâtive; Dallery le comprit bientôt et il consacra sa machine à servir de moteur dans ses ateliers.

Un orgue manquait à la cathédrale d'Amiens, ce travail lui fut confié : les devis s'élevaient à 400,000 francs. Dallery se mit à l'œuvre. Mais la révolution éclate : le temps des orgues était passé, il fallut changer de carrière.

Sans se décourager, Dallery propose à la ville d'Amiens de construire des moulins à vent sur un système nouveau : les ailes tournaient horizontalement. Cette innovation choqua beaucoup la cité picarde, qui voyant ces roues de moulin tourner comme les chevaux de bois à la foire, appela ce moulin, le *moulin de la Folie.*

L'inventeur était fier et digne : cette critique lui déplut; il se brouilla avec sa ville natale et la quitta pour n'y plus revenir. Il alla installer sa machine à vapeur chez un industriel de ses amis, fabricant de limes, qui possédait deux usines, l'une à

Nevers, l'autre à Amboise. Appropriée à ce nouvel usage, la machine mettait en mouvement un martinet du poids de 500 livres et frappait 500 coups par minute, forgeant l'acier et le façonnant en limes ouvragées de toutes manières; Dallery dirigeait les deux usines.

Mais ce n'était là qu'une bien insuffisante occupation. Quand le travail fut organisé et la tâche terminée, Dallery et le maître de forges se regardèrent en disant :

— Qu'allons-nous faire maintenant ?

Il fut convenu que l'on se rendrait à Paris pour y proposer au gouvernement le plan d'un moulin à farine mû par la vapeur. La machine à vapeur était une ressource puissante pour économiser à l'industrie les bras de l'ouvrier qui commençaient à manquer. Or, personne ne songeait encore, en France, à tirer sérieusement parti de la vapeur dans les usines ; les deux associés pouvaient donc compter sur un succès.

Leur calcul était juste, mais ils avaient compté sans la disette.

Le gouvernement avait, en effet, adopté leur plan sans difficulté, et l'on avait installé le moulin à farine, dans les bâtiments de l'octroi de Bercy : on avait même promis une avance de 30,000 francs. Mais ces 30,000 francs n'arrivèrent jamais. En revanche, la disette arriva, et la terreur à sa suite. Notre mécanicien dut descendre des hautes régions où l'avait élevé ce succès d'un jour. Son courage, néanmoins, ne se démentit pas. Il venait d'appliquer son talent à des créations grandioses, il l'appliqua à des travaux microscopiques. Il se fit horloger et fut le premier à construire en France ces montres de la dimension d'une pièce de 10 sous que l'on portait au doigt sur une bague. Seulement, comme on n'avait jamais rien fait de semblable dans l'art de l'horlogerie, il n'existait point d'outil pour de tels ouvrages, et Dallery dut créer les instruments pour cette nouvelle fabrication, la boîte ovale et jusqu'au tour qui servait à obtenir cette forme.

Mais ces chefs-d'œuvre microscopiques se vendaient fort cher, et personne n'était riche à cette époque. Toutes ces élégantes curiosités n'étaient pas plus de saison que les orgues d'église : Dallery dut chercher une autre manière d'arriver à la fortune.

L'utile conseil d'un ami vint le placer dans cette voie. Il s'agissait de perfectionner les premières façons de l'or employé par les bijoutiers. Dallery créa dans l'orfévrerie une industrie nouvelle, dont il avait le secret et le monopole. Pendant vingt-cinq ans toute la bijouterie d'or de Paris a travaillé avec le *moleté*, le *grené*, le *découpé* de Charles Dallery.

Grâce aux bénéfices qu'il réalisait dans cette obscure existence d'artisan, Dallery put songer à mettre à exécution un projet dont le succès devait faire évanouir tous les ennuis passés et le ramener aux sphères brillantes qu'il avait perdues : il voulait appliquer l'hélice à la navigation,

Depuis que l'ingénieur Paucton avait proposé, comme on l'a vu plus haut, de remplacer les rames par des hélices, beaucoup d'efforts avaient été tentés pour approprier cet appareil mécanique à la propulsion des bâtiments ; mais personne n'avait encore songé à combiner l'hélice comme agent propulseur, avec l'emploi de la vapeur comme force motrice. Telle était la pensée que Dallery se proposait de réaliser, et c'est surtout en raison de ce fait que les travaux de ce mécanicien nous ont paru dignes d'être rappelés dans cet historique. L'idée d'appliquer la vapeur à faire mouvoir les hélices d'un bateau distingue, en effet, le projet de Dallery d'une foule de plans analogues conçus et en partie exécutés à cette époque, mais dans lesquels la vapeur, alors à peine connue, n'était pas mise à profit.

Le brevet pris par Dallery porte la date du 29 mars 1803 ; cette date est remarquable puisqu'elle montre que Dallery exécutait son bateau à hélice, à l'époque et au moment même

où Fulton s'occupait, de son côté, à construire son bateau à roues. Ainsi ces deux tentatives sont tout à fait contemporaines, et Dallery n'avait pu rien emprunter à l'ingénieur américain. Bien plus, il l'emportait sur son rival, quant au choix de l'agent propulseur, puisqu'il avait du premier coup choisi le mécanisme que, quarante années plus tard, la marine à vapeur devait adopter.

L'appareil que Dallery se proposait d'employer comme agent propulseur de son bateau, consistait en une hélice simple, à un seul filet et à deux spires de révolution. Elle devait être placée à l'arrière du bateau. Une autre hélice, placée à l'avant, était mobile dans le sens de son axe et pouvait servir de gouvernail. Les deux hélices devaient être immergées au-dessous de la ligne de flottaison et mises en mouvement par une machine à vapeur à deux cylindres.

Mais faisons tout de suite remarquer que les dispositions mécaniques adoptées par l'auteur de ce projet pour transmettre aux hélices les mouvements des deux pistons de la machine à vapeur, étaient trop défectueuses pour que l'exécution pût répondre à ses espérances. Dallery propose, dans son brevet, de transmettre ce mouvement à l'aide de poulies et de simples cordes. C'était se faire une idée bien inexacte des résistances à vaincre et de la manière de combattre ces résistances (1).

(1) Il est difficile aujourd'hui de connaître exactement les détails du plan de Dallery. Le brevet d'invention qui lui fut accordé le 29 mars 1803, se trouve mentionné dans le 2e volume, page 206, n° 138 de la *Collection des brevets d'invention*, publiée en 1818, par ordre du ministre de l'intérieur ; mais on se borne à rapporter le titre du brevet. Ce titre est le suivant :

Mobile perfectionné appliqué aux voies de transport par terre et par mer.

Si l'on cherche l'explication de ce laconisme dans la citation du recueil officiel, on la trouve dans une note placée en tête de l'ouvrage. Voici cette note :

« Nous n'avons fait qu'indiquer dans ce recueil, le titre des brevets

Quoi qu'il en soit, Dallery, confiant dans l'exactitude de ses vues, n'avait pas hésité à jeter toute sa fortune dans cette entreprise. Il avait ramassé 30,000 francs dans son industrie d'apprêteur d'or, il les consacra à la construction d'un bateau qui fut exécuté avec les plus grands soins.

Quant à la machine à vapeur, et au système mécanique destiné à servir d'agent propulseur, ils ne furent montés qu'aux deux tiers, car les fonds manquèrent à l'inventeur pour terminer l'œuvre commencée.

Dans sa détresse, Dallery eut recours au ministre. Il montra ses plans, l'état où le travail en était resté, et le misérable obstacle qui le séparait du succès. Un léger secours lui aurait permis d'atteindre au but et peut-être d'assurer à la France l'honneur que l'Amérique allait lui ravir.

Mais toutes ses démarches furent inutiles; livré à ses propres forces, il fut contraint de s'arrêter.

Quelques jours après, le bateau de Fulton, armé de ses roues, passait, triomphant, devant son malheureux rival, et faisait son premier essai sur cette rivière même de Bercy à Charenton où flottait le bateau inachevé de Charles Dallery.

Lorsque Fulton, dédaigné de tous, eut transporté en Amérique, l'invention que la vieille Europe avait repoussée, Charles Dallery poursuivit encore de ses inutiles sollicitations le gouvernement et ses ministres. N'ayant rien obtenu, il se rendit

» dont l'objet est une conception chimérique que l'expérience a jugée, » ou une chose que tout le monde connaît, ou que personne n'a envie de » connaître. »

Le projet de Dallery a donc été jugé avec défaveur à l'époque où il s'est produit. On ne peut s'empêcher de reconnaître que cette défaveur était justifiée sur plus d'un point. Mais il ne faut pas oublier, d'un autre côté, que ce projet a été conçu en 1803, c'est-à-dire à une époque où la navigation par la vapeur en était à peine à ses débuts, et que la pratique aurait sans doute amené l'auteur à faire disparaître les défectuosités de son système.

un matin aux bords de la Seine, et donnant l'ordre et l'exemple à ses ouvriers, il prit un marteau et mit son bateau en pièces. Ensuite il reprit son humble travail d'apprêteur d'or. Quant à son brevet, il le laissa expirer au ministère de la marine où personne ne s'en inquiéta jamais.

Dallery est mort à l'âge de quatre-vingt-un ans, à Jouy, près de Versailles où tout le monde l'a connu. C'était un beau vieillard, aux grandes manières. Majestueux dans sa tenue, toujours poudré à blanc et en cravate blanche, il parlait peu, ne riait jamais et était d'une dignité royale (1).

Après Dallery, quelques autres mécaniciens ont essayé de mettre en mouvement, par l'action de la vapeur, une ou plusieurs hélices disposées de différentes manières sous la ligne de flottaison d'un bâtiment ou d'un bateau de rivière ; mais aucune de ces tentatives ne réussit et leur insuccès jeta beaucoup de défaveur sur ce système (2). Ce n'est qu'en 1823 que les préventions qui régnaient chez les constructeurs contre l'emploi de l'hélice, furent en partie dissipées par les remarquables travaux qu'exécuta en France le capitaine du génie Delisle.

Toutes les tentatives faites jusqu'à cette époque pour appliquer l'hélice à la navigation, avaient complétement échoué ; on s'accordait donc alors à condamner son usage d'une manière

(1) C'est grâce aux efforts persévérants de son gendre, M. Chopin-Dallery, que les travaux de Dallery ont été préservés de l'oubli qui les menaçait. M. Chopin a publié une brochure de 20 pages in-8, ayant pour titre : *L'hélice appliquée aux bateaux et aux voitures à vapeur, mémoire explicatif sur le brevet d'invention Dallery obtenu le 29 mars 1803*. Ce travail a été présenté à l'Académie des sciences le 25 mars 1844, et une commission composée de MM. Arago, Ch. Dupin, Pouillet et Morin, a reconnu, dans un rapport, les droits de Dallery aux inventions spécifiées dans ce mémoire. Mais combien n'y a-t-il pas, autour de nous, de ces Dallerys ignorés, et qui le seront à jamais, faute d'un gendre !

(2) On trouvera dans un mémoire de M. Léon Duparc, imprimé dans les *Annales maritimes* de l'année 1842 (tome II, page 885), le relevé exact de tous les travaux exécutés jusqu'à nos jours pour l'application de l'hélice au service des bâtiments à vapeur.

absolue. M. Delisle démontra, dans le beau travail qu'il entreprit à cette occasion, la vérité de la thèse contraire. Il s'efforça d'établir, par le calcul, la supériorité de ce système sur celui des roues à aubes, et proposa de disposer sous la quille des navires deux hélices à trois pas de vis, placées l'une à l'avant, l'autre à l'arrière. Il fit même la proposition formelle de substituer des hélices aux roues à aubes sur les navires de la marine militaire. Le ministère de la marine rejeta le projet du capitaine Delisle, qui était cependant presque identique avec celui que M. Ericson employait avec succès, huit années après, en Angleterre.

Un constructeur du Havre, M. Sauvage, continua les recherches du capitaine Delisle. Les longs et persévérants travaux qu'il exécuta mirent hors de doute les avantages de l'hélice comme propulseur sous-marin. C'est surtout à M. Sauvage qu'est due la démonstration de ce fait important, que, pour produire son maximum d'effet, la vis doit être réduite à la longueur d'une seule révolution. Cependant malgré vingt années d'efforts, il ne put parvenir à exécuter des essais sur un échelle suffisante pour établir d'une manière irrécusable la vérité de ses assertions.

Ruiné par ses longues recherches, vieux et malade, Sauvage a été arraché à la misère par le roi Louis-Philippe, qui lui accorda une pension en 1846; mais il a été atteint, en 1854, de la maladie du Tasse. Le chef actuel de l'État s'est empressé de venir en aide au malheureux vieillard qui a été recueilli dans la maison de Picpus. Dans cet asile, où il est entouré de soins et de prévenances, le créateur de l'hélice simple passe son temps entre son violon et une volière d'oiseaux.

Pendant que M. Sauvage poursuivait ses travaux en France, un grand nombre d'autres constructeurs exécutaient, en Angleterre et aux États-Unis, des recherches du même genre. MM. Ericson, Beyre, Napier, Blaxman et Timothy, se distin-

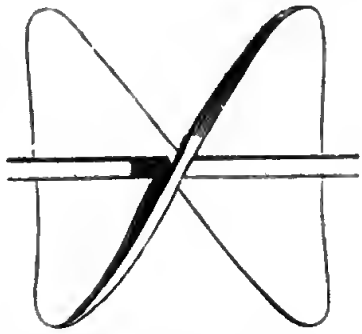
gnèrent particulièrement dans cette voie. Pendant les années 1836 et 1838, M. Ericson soumit à des essais très variés un système propulseur composé de deux hélices, qui ne différait que très peu de celui de notre compatriote Delisle. Ces tentatives ayant été jugées, en Angleterre, avec beaucoup de faveur, le système de M. Ericson fut définitivement appliqué à un petit bâtiment, le *Francis-Ogden*, qui fut soumis, comme remorqueur, à différents essais. A la même époque, parut le système de M. Smith, qui ne différait que fort peu de celui de M. Sauvage. Plus heureux que notre compatriote, le constructeur anglais réussit à obtenir la formation d'une société qui prit le titre de *Compagnie de propulsion par la vapeur*. Cette compagnie fit construire, pendant les années 1838 et 1839, un grand et beau navire, l'*Archimède*, qui fut consacré à étudier l'hélice d'une manière définitive dans les conditions de la grande navigation. Des expériences comparatives, prolongées pendant plus d'une année, ayant fait reconnaître toute l'utilité de ce système, la compagnie propriétaire du magnifique steamer le *Great-Britain*, dont nous avons plus haut rappelé l'origine, arma ce navire d'une hélice.

C'est à dater de ce moment que les avantages de la vis d'Archimède, comme moyen de propulsion maritime, mis entièrement hors de doute, ont rendu son emploi à peu près général dans les navires à vapeur destinés au service de la mer. Le beau paquebot à vapeur *le Napoléon*, construit au Havre par M. Normand, a montré l'un des premiers en France les avantages de ce moteur.

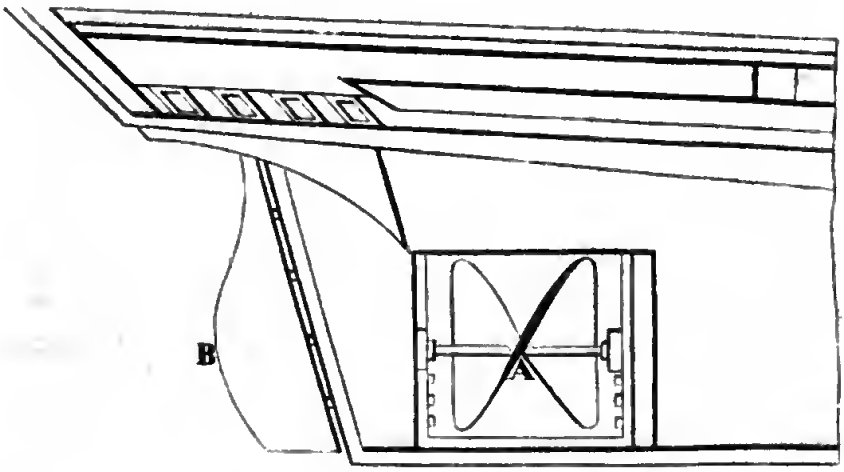
La simplicité extrême de l'hélice comme propulseur sous-marin nous permettra de réduire sa description à un petit nombre de détails.

On a beaucoup hésité sur les dimensions à donner à la vis d'Archimède, pour en obtenir le maximum d'effet. Après avoir

fait usage de l'hélice triple, double, etc., on a reconnu que la vis formée d'une seule révolution est celle qui réunit les conditions les plus avantageuses. La figure ci-jointe représente l'hélice telle qu'elle est aujourd'hui employée par nos constructeurs. Elle se compose, comme on le voit, d'une seule révolution de vis. Quant à ses dimensions, elles dépendent de celles du navire, et sont liées à ce dernier élément par des formules et des règles pratiques dont l'expérience a constaté l'exactitude. Les hélices sont habituellement de fer, cependant le cuivre convient mieux pour leur construction, parce qu'il résiste plus longtemps à l'action corrosive de l'eau de la mer.



L'hélice est toujours placée bien au-dessous de la ligne de



flottaison du navire, afin que dans aucune circonstance l'agent propulseur ne puisse se trouver élevé hors du liquide sur lequel il agit. On l'installe à l'arrière, dans un espace libre ménagé sous la quille et dans le plan vertical qui passe par l'axe

du bateau. Elle se trouve ainsi à une petite distance en avant du gouvernail. La figure précédente a pour but de montrer l'installation de l'hélice sous le bâtiment. A est l'hélice vue dans la position où elle fonctionne, B le gouvernail du navire. L'hélice est disposée, comme on le voit, dans un espace laissé libre sous la quille du navire, et dans le plan de son axe vertical. Tenue entre deux tourillons fixes, elle tourne dans cet espace, en recevant son mouvement de l'arbre de la machine à vapeur, auquel elle est liée par une courroie ou par des engrenages. Sa vitesse de rotation est très considérable : elle est habituellement de 240 tours par minute.

Indiquons rapidement les avantages et les inconvénients qui se rattachent à l'emploi de l'hélice dans la navigation par la vapeur. Ses avantages principaux peuvent se résumer ainsi :

1° L'agent propulseur du navire est à l'abri de l'atteinte des boulets et des divers projectiles, de la chute des mâts et des diverses causes d'accidents de ce genre de nature à l'endommager.

2° La suppression des roues, diminuant la largeur du bâtiment, lui donne plus de facilité pour entrer dans un port, dans un bassin, etc., ou pour manœuvrer parmi d'autres embarcations.

3° Le navire offrant moins de prise au vent, par suite de l'absence des tambours qui environnent les roues, la vitesse de sa marche se trouve accélérée.

4° La vis, toujours immergée, quel que soit le degré d'inclinaison que prenne le navire par l'action du vent ou le mouvement du roulis, acquiert, dans ces circonstances, une puissance égale et souvent supérieure à celle des roues.

5° L'espace occupé par les roues sur un bâtiment de guerre devenant libre, on peut établir des batteries dans toute sa longueur.

6° Les navires à hélice présentant la même forme que les

navires à voiles, peuvent être plus rapidement convertis en bâtiments à voiles. Or, si l'on peut suspendre par intervalles l'action de la vapeur, et ne l'employer que par les temps de calme ou par les vents contraires, on réalise sur le combustible une économie considérable.

7° Enfin, comme l'hélice est mise en action par des machines à vapeur qui n'occupent qu'un faible espace, les bâtiments de commerce qui en sont pourvus peuvent disposer, pour les marchandises, d'un emplacement plus considérable.

Ces avantages si remarquables sont en partie contre-balancés par quelques inconvénients qu'il nous reste à énumérer. Le premier, et le plus grave, consiste dans l'infériorité de vitesse que présentent les navires à hélice sur les bâtiments à roues, dans les conditions de la navigation ordinaire. Cette infériorité relative dans la vitesse provient de ce que le mouvement de la vis au sein de l'eau amène nécessairement une perte de force mécanique, perte plus grande que celle qui résulte de l'emploi des roues. L'hélice exerce sur l'eau un double mouvement : elle la pousse d'arrière en avant et sur les côtés. Ce dernier effet est perdu pour la progression, la force nécessaire pour le produire est donc dépensée en pure perte. Aussi a-t-on reconnu que dans un temps calme, la vitesse d'un navire à hélice est inférieure des douze centièmes environ à celle d'un bateau à roues. Il faut remarquer seulement que, dans les navires à hélices, la perte de force qui provient de l'agent moteur est un élément constant qui ne s'accroît dans aucune circonstance ; au contraire, celle qui résulte, dans les bâtiments à roues, de l'élévation de l'appareil moteur hors du liquide, par suite du mouvement de la mer, augmente souvent dans des proportions dont il est impossible de tenir compte.

Il faut ajouter, comme inconvénients liés à l'emploi des hélices, le bruit continuel et désagréable causé par les engrenages, la crainte de voir l'appareil moteur brisé par la ren-

contre des hauts-fonds, l'usure rapide des supports dans lesquels l'hélice tourne avec une rapidité extraordinaire, enfin la difficulté qu'on éprouve souvent à la retirer lorsqu'elle exige quelque réparation, et surtout à la remettre en place en la fixant exactement dans la direction de l'axe du navire qu'elle doit toujours occuper pour fournir le maximum de son action motrice.

La conclusion des faits qui viennent d'être énumérés est facile à déduire. L'hélice, manifestant surtout ses avantages dans le cours d'une navigation difficile et accidentée, convient parfaitement au service de la mer. Sur les rivières et sur les fleuves, elle ne présenterait aucun bénéfice particulier. Il est de toute évidence qu'un navire de guerre ne peut employer que l'hélice comme moyen propulseur. Quant aux paquebots ou bâtiments de commerce, bien qu'ils semblent devoir en tirer des avantages beaucoup moindres, on les voit cependant depuis quelques années l'adopter de préférence. Presque tous les bâtiments à vapeur que l'on construit en Angleterre, pour le service du commerce, sont munis de l'hélice. En France, on s'est montré jusqu'ici plus timide. C'est d'ailleurs à la pratique à se prononcer en dernier ressort sur cette grave question ; l'expérience étendue à laquelle les deux systèmes rivaux se trouvent aujourd'hui soumis sur toutes les mers, ne tardera pas à résoudre les difficultés qui divisent encore les hommes de l'art sur le rôle qui se trouve réservé dans l'avenir à ce moteur nouveau.

LES CHEMINS DE FER.

Digitized by Google

Digitized by Google

LES CHEMINS DE FER.

CHAPITRE PREMIER.

Premières idées concernant la locomotion par la vapeur. — Le docteur Robison. — James Watt. — Voiture à vapeur de l'ingénieur français Cugnot. — Construction des premières machines à haute pression par Olivier Evans. — Application de ces machines à la locomotion sur les routes ordinaires. — Voiture à vapeur d'Olivier Evans. — Diligence à vapeur de Trevithick et Vivian.

La machine à vapeur a eu cette heureuse destinée que les diverses améliorations qu'elle a reçues depuis son origine ont trouvé, dès le moment de leur création, des applications de la plus haute importance. En 1690, le génie de Papin jette dans le monde scientifique sa grande conception concernant la vapeur, et dix ans sont à peine écoulés, que cette pensée théorique, sortant du domaine spéculatif où elle a pris naissance, reçoit son application dans l'industrie. Savery et Newcomen, consacrant la machine atmosphérique à l'épuisement des eaux dans les mines de houille, arrachent à une imminente ruine la branche mère de l'industrie britannique. A peine James Watt a-t-il accompli dans le système des machines à vapeur cette révolution admirable que nous avons essayé de faire connaître, que les applications de ses découvertes se réalisent aussitôt sur une échelle immense. Avec les forces nouvelles dont elle est armée, la machine à vapeur s'élance, par toutes les voies, dans le domaine de l'industrie, et vient offrir son utile secours aux

innombrables travaux des manufactures et des usines. La persévérance et les talents de Fulton lui ouvrent ensuite l'empire des mers, et elle brave sur l'Océan l'effort des vents et des flots. Enfin, de nouveaux perfectionnements apportés au mécanisme de ce puissant moteur permettent de l'appliquer aux transports rapides sur les voies de la locomotion terrestre. C'est cette dernière période des progrès de la machine à vapeur qu'il nous reste à aborder, et ce n'est ni la moins curieuse, ni la moins intéressante de son histoire.

Bien que les machines locomotives soient beaucoup plus simples dans leur combinaison que les machines fixes qui fonctionnent dans les usines ou sur les navires, leur invention est cependant de beaucoup postérieure en date à ces dernières : les bateaux à vapeur sillonnaient les fleuves dans les deux hémisphères vingt ans avant que la circulation des voyageurs fût établie sur les chemins de fer. Cette circonstance s'expliquera sans peine si l'on considère les conditions spéciales auxquelles la machine à vapeur devait satisfaire pour servir à traîner sur la terre les hommes et les fardeaux. Les seules machines à vapeur connues et employées dans l'industrie jusqu'au commencement de notre siècle, furent les machines à condensation. Or, on ne pouvait songer à les appliquer aux transports sur les routes, car l'énorme quantité d'eau employée au seul usage de la condensation de la vapeur, aurait surchargé la voiture au point de l'empêcher de se traîner elle-même. Il fallait, pour résoudre ce problème, posséder un appareil moteur présentant tout à la fois un poids très faible, un volume médiocre et une puissance considérable. Les machines à haute pression réunissent ces conditions précieuses, mais elles ne furent en usage que vers l'an 1801 ; ce n'est donc qu'à partir de ce moment que l'on put sérieusement s'occuper d'appliquer la puissance de la vapeur à la locomotion terrestre.

Cependant cette vérité ne s'est pas toujours montrée telle-

ment évidente, que quelques mécaniciens n'aient essayé, avant cette époque, d'aborder le problème de la locomotion par la vapeur. Mais ces tentatives sans portée méritent à peine un souvenir. C'est ainsi qu'en 1759, le docteur Robison, alors élève à l'université de Glasgow, s'était proposé d'appliquer la vapeur à faire tourner les roues des voitures, et que James Watt, en 1784, donna, dans un de ses brevets, la description d'une machine à condensation applicable au même objet. Mais ces deux savants avaient l'un et l'autre une connaissance trop approfondie de ces questions pour ajouter aucune importance à une idée de ce genre ; ils ne tardèrent pas à abandonner leur projet.

Il en fut autrement d'un ingénieur français nommé Cugnot, qui, méconnaissant la gravité des obstacles qu'il allait rencontrer, fit de longs et inutiles efforts pour construire des chariots mis en mouvement par la vapeur. Loin de contribuer, comme on le prétend aujourd'hui, à la découverte de ce genre de locomotion, ce mécanicien ne fit que la retarder par suite de son échec.

Joseph Cugnot, né à Void, en Lorraine, le 25 septembre 1725, avait vécu pendant toute sa jeunesse en Allemagne, où il servait en qualité d'ingénieur. Il passa ensuite dans les Pays-Bas, pour entrer au service du prince Charles. Un ouvrage sur les *Fortifications de campagne*, et un nouveau modèle de fusil, qui fut accueilli par le maréchal de Saxe et adopté pour l'armement des Hulans, lui valurent une certaine notoriété dans son art. Encouragé par ces premiers succès, il s'occupa, à Bruxelles, de construire des chariots qu'il désignait sous le nom de *fardiers à vapeur*, et qu'il destinait au transport du matériel de l'artillerie. Il se rendit à Paris en 1763, pour y continuer ses recherches. Au bout de plusieurs années de travaux, il réussit à construire un modèle, encore fort imparfait, de ce genre de machines, qui fut soumis en 1769 à

l'examen de Gribeauval. Un ancien rapport, retrouvé par M. Morin aux archives de l'artillerie, établit d'une manière authentique l'origine de la voiture de Cugnot. Nous en rapportons un extrait.

« En 1769, est-il dit dans ce rapport, un officier suisse, nommé Planta, proposa au ministre Choiseul plusieurs inventions, lesquelles, en cas de réussite, promettaient beaucoup d'utilité.

» Parmi ces inventions, il s'agissait d'une voiture mue par l'effet de la vapeur d'eau produite par le feu.

» Le général Gribeauval ayant été appelé pour examiner le prospectus de cette invention, et ayant reconnu qu'un nommé Cugnot, ancien ingénieur chez l'étranger et auteur de l'ouvrage intitulé : *Fortifications de campagne*, s'occupait alors d'exécuter à Paris une invention semblable, détermina l'officier suisse Planta à en faire lui-même l'examen.

» Cet officier l'ayant trouvée de tous points semblable à la sienne, le ministre Choiseul chargea l'ingénieur Cugnot d'exécuter aux frais de l'État celle par lui commencée en petit.

» Mise en expérience en présence du ministre, du général Gribeauval et en celle de beaucoup d'autres spectateurs, et chargée de quatre personnes, elle marcha horizontalement ; et j'ai vérifié qu'elle aurait parcouru environ 1,800 à 3,000 toises par heure, si elle n'avait pas éprouvé d'interruption.

» Mais la capacité de la chaudière n'ayant pas été assez justement proportionnée avec assez de précision à celle des pompes, elle ne pouvait marcher de suite que pendant la durée de douze à quinze minutes seulement, et il fallait la laisser reposer à peu près la même durée de temps, afin que la vapeur de l'eau reprît sa première force ; le four étant d'ailleurs mal fait, laissait échapper la chaleur ; la chaudière paraissait aussi trop faible pour soutenir dans tous les cas l'effort de la vapeur.

» Cette épreuve ayant fait juger que la machine exécutée en grand pourrait réussir, l'ingénieur Cugnot eut ordre d'en faire construire une nouvelle, qui fût proportionnée de manière à ce que, chargée d'un poids de huit à dix milliers, son mouvement pût être continu pour cheminer à raison d'environ 1,800 toises par heure.

» Elle a été construite vers la fin de 1770, et payée à peu près 20,000 livres.

» On attendait les ordres du ministre Choiseul pour en faire l'essai, et pour continuer ou abandonner toutes recherches sur cette nouvelle invention; mais ce ministre ayant été exilé peu après, la voiture est restée là, et se trouve aujourd'hui dans un couvert de l'Arsenal (1). »

Ce rapport semble établir que les essais définitifs de la voiture de Cugnot ne furent point exécutés. Cependant Bachaumont nous apprend le contraire. « On a parlé il y a quelque temps, nous dit l'auteur des *Mémoires secrets*, à la date du 30 novembre 1770, d'une machine à feu pour le transport des voitures, et surtout de l'artillerie, dont M. Gribeauval, officier en cette partie, avait fait faire des expériences, qu'on a perfectionnées depuis, au point que mardi dernier la même machine a traîné dans l'Arsenal une masse de cinq milliers servant de socle à un canon de 48, du même poids à peu près, et a parcouru en une heure cinq quarts de lieue. La même machine doit monter sur les hauteurs les plus escarpées et surmonter tous les obstacles de l'inégalité des terrains ou de leur abaissement. » Mais cet espoir fut déçu, car la tradition rapporte que dans des essais postérieurs, la violence des mouvements de cette machine ayant empêché de la diriger, elle alla donner contre un pan de mur qui fut renversé du choc.

La voiture à vapeur de Cugnot existe encore au Conservatoire des arts et métiers de Paris, où les curieux vont quelquefois la visiter. Quand on examine d'un œil impartial le mécanisme de cet appareil antique, on ne se sent guère disposé à partager l'espèce d'admiration béate dont il est l'objet, en France, depuis quelques années. Malgré tout le respect que commande sa vue, il est permis de ne voir dans ce patriarche des locomotives qu'une assez pauvre création. La voiture de

(1) *Rapport adressé au ministre de la guerre, le 24 janvier 1801*, par L.-N. Rolland, commissaire général de l'artillerie.

Cugnot était mise en mouvement par une machine à vapeur à simple effet. Cette machine se composait de deux cylindres de bronze disposés verticalement, et dans lesquels la vapeur, introduite au moyen d'un tube, se trouvait mise en communication tantôt avec la chaudière pour recevoir la vapeur, tantôt avec l'air pour chasser dehors cette vapeur quand elle avait produit son effet. La chaudière, disposée à l'avant de la voiture, présentait la forme d'un sphéroïde aplati; le foyer, à peu près concentrique à la chaudière, était disposé au-dessous. Tout ce système reposait sur trois roues : celle de devant était la roue motrice, qui recevait l'action du piston; les deux autres ne servaient qu'à maintenir l'équilibre.

La machine à vapeur à simple effet n'avait pu s'appliquer, comme nous l'avons vu, à la propulsion des bateaux. A plus forte raison devait-elle échouer pour la locomotion sur terre, où un frottement plus actif et mille autres difficultés venaient encore gêner son action. Ajoutons que Cugnot ne s'était pas inquiété des moyens de remplacer l'eau à mesure qu'elle disparaissait en vapeurs, de telle sorte qu'au bout d'un quart d'heure tout mouvement se trouvait arrêté. Il fallait remplir de nouveau la chaudière, et la marche de la voiture n'était rétablie que lorsque la vapeur avait acquis une tension suffisante. Cette circonstance suffisait à elle seule pour empêcher toute application. On ne peut donc citer qu'avec défaveur l'appareil de Cugnot. C'est qu'il ne suffit point, dans l'industrie ou dans les arts, de se poser en face d'un problème à résoudre, il faut savoir reconnaître, avant de l'aborder, si la science fournit les moyens de triompher des difficultés qu'il présente. Quand l'état d'imperfection des procédés dont l'industrie dispose rend manifestement un projet irréalisable, c'est le signe d'un faux esprit que d'y persévérer. Lorsque Cugnot entreprit ses recherches, la machine à vapeur était depuis soixante ans en usage dans l'industrie. La pensée était venue à beaucoup de mécaniciens

d'appliquer un tel moteur à faire marcher les voitures, mais, après mûr examen, ce projet avait été reconnu impraticable. Quel genre de reconnaissance pourrions-nous donc conserver à celui qui n'eut d'autre mérite que de persister, en dépit de l'évidence, dans une entreprise condamnée avec raison par tous les bons esprits de son époque ?

Un essai avorté compromet toujours l'avenir d'une idée scientifique. Le mauvais effet que produisit l'échec de Cugnot retarda notablement la découverte de la locomotion par la vapeur, en détournant les mécaniciens de son étude. Trente années s'écoulèrent, pendant lesquelles ce genre de recherches fut totalement abandonné. La découverte des machines à haute pression put seule ramener l'attention sur ce problème, en raison des facilités évidentes qu'elle apportait à sa solution.

Dans l'histoire des applications de la vapeur à l'industrie et à la navigation, nous n'avons pu parler que d'une manière incomplète de la machine à haute pression dont les applications sont toutes modernes; c'est donc ici le lieu de tracer l'historique abrégé de sa découverte.

La première idée des machines à haute pression a été émise par Leupold vers 1725. Dans son célèbre recueil (1), le physicien allemand donne la description de deux machines à feu propres à l'élévation des eaux, qui ne sont autre chose que des machines à haute pression. La première, qu'il annonce sous ce titre : *Double machine à feu pour élever l'eau par expansion, d'après le procédé de Papin*, ressemble beaucoup à la seconde machine à vapeur du physicien de Blois. A l'exemple de Savery et de Papin, Leupold se sert de la pression de la vapeur pour élever de l'eau dans un réservoir, et la faire retomber de là sur les augets d'une roue hydrau-

(1) *Theatri machinarum hydraulicarum tomus II, Oder Gehauplatz der Wasser-Künste*, cap. IX, p. 92.

lique; seulement, après que la vapeur a exercé sa pression, il la rejette dans l'air. Sa seconde machine n'est plus consacrée à comprimer une colonne d'eau, mais, comme celle de Newcomen, à faire mouvoir directement la tige d'une pompe qui élève des eaux. C'est une véritable machine à haute pression; un robinet à quatre ouvertures sert à introduire la vapeur dans deux cylindres disposés l'un près de l'autre, et à la rejeter ensuite librement dans l'air. C'est donc à Leupold qu'il faut rapporter l'honneur de la découverte du principe théorique de la machine à haute pression. Contemporain de Papin, de Savery et de Newcomen, il avait eu l'occasion d'étudier leurs appareils, et il eut le mérite d'indiquer, dès l'apparition des premières machines de ce genre, un nouveau mode d'emploi de la vapeur qui devait plus tard jouer un si grand rôle dans l'industrie (1).

Cependant le principe découvert par Leupold passa sans exciter l'attention; perdus dans son volumineux recueil, ses projets de machines restèrent inaperçus. Ajoutons d'ailleurs, qu'il eût été impossible à cette époque de mettre en pratique les idées du physicien allemand, en raison de la nature du

(1) Leupold paraît avoir compris l'importance que devait acquérir plus tard la machine dont il propose l'usage. Après avoir décrit son second appareil, il ajoute : « Cette machine peut être employée dans le même cas que la précédente... Tout peut être disposé de telle sorte que les robinets s'ouvrent et se ferment d'eux-mêmes, ce que j'omets entièrement à dessein, comme aussi la manière de remplacer l'eau dans la chaudière, parce qu'il ne s'agit ici que d'une esquisse, et qu'il faudrait une étude plus approfondie et des expériences. Je me suis proposé de faire un jour une expérience en grand et un essai, savoir : si l'on pourrait établir avantageusement, de cette manière, une scierie dans une forêt où il y aurait assez de bois et d'eau. Mais comme le temps et l'occasion me manquent pour exécuter tout de suite cette machine, ainsi que d'autres expériences ou recherches coûteuses, j'ai l'espoir qu'il y aura peut-être des amateurs qui saisiront l'occasion que je leur offre pour faire quelques expériences à ce sujet. » (*Von Feuer-Machinen*, cap. IX, § 201, p. 94.)

métal dont on faisait usage pour la construction des chaudières. La voûte des chaudières employées par Newcomen était ordinairement de plomb, et les parties inférieures de cuivre; la présence d'un métal aussi fusible et aussi peu résistant que le plomb n'aurait pas permis de communiquer sans danger à la vapeur des tensions considérables.

Dans la série de ses belles recherches, James Watt ne manqua pas de reconnaître l'importance que pourraient jouer, dans l'emploi mécanique de la vapeur, les moyens proposés par Leupold. Le célèbre constructeur parle, dans un de ses brevets, de son projet de construire des machines dans lesquelles la vapeur serait chassée au dehors après avoir produit son effet; cependant il n'exécuta jamais aucune machine fondée sur ce principe.

L'honneur d'avoir construit et répandu dans l'industrie les premières machines à haute pression revient à l'Américain Olivier Evans, homme doué d'un remarquable génie mécanique, et que ses compatriotes eurent le tort de longtemps méconnaître.

L'attention d'Olivier Evans fut dirigée pour la première fois sur les effets de la vapeur par une sorte de jeu familier aux habitants de son pays. En Amérique, les enfants s'amusent, dit-on, à boucher avec une forte cheville la lumière d'un canon de fusil, ils versent ensuite un peu d'eau dans le canon, et placent par-dessus une bourre fortement pressée. La culasse du canon étant exposée à l'action d'un feu de forge, la cheville finit par être chassée avec une violente détonation. On donne à ce jeu, qui n'est, comme on le voit, que la prétendue expérience du marquis de Worcester, le nom de *pétards de Noël.* Le 2 décembre 1773, Olivier Evans, alors âgé de dix-huit ans et simple ouvrier charron à Philadelphie, apprit de l'un de ses frères, qui revenait d'une veillée de village, les effets des pétards de Noël. Son esprit en fut vivement frappé, et comme il avait

longtemps réfléchi aux moyens de découvrir quelque force motrice autre que celle du vent, des ressorts ou des chevaux, sa jeune imagination s'enflamma à l'idée de créer un nouveau moteur avec la vapeur d'eau, dont l'action lui était jusque-là inconnue. Cependant il ne tarda pas à apprendre que les mécaniciens avaient déjà tiré parti de cette force motrice. La description d'une vieille machine atmosphérique qui lui tomba sous la main, et la lecture de quelques ouvrages incomplets sur les machines à condenseur, le mirent au courant de l'état de la science sur cette question. Il s'étonna à bon droit que l'on n'eût encore employé que pour faire le vide un agent dont la puissance lui semblait sans limites, et, sur cette donnée, il s'appliqua à combiner des machines nouvelles dans lesquelles la vapeur agissait par sa seule élasticité, et se perdait dans l'air après avoir exercé sa pression. Il construisit divers modèles de ce nouveau genre de machines, dans lesquels la vapeur agissait jusqu'à la tension de dix atmosphères.

C'est en appliquant ses idées sur la haute pression, qu'Olivier Evans imagina, en 1782, ces admirables moulins à farine mus par la vapeur, dont les États-Unis ont retiré et retirent encore de si grands services. Il essaya bientôt après de construire, suivant les mêmes principes, une voiture marchant par l'effet de la vapeur. En 1786, il adressa à la législature de l'État de Pensylvanie la demande d'un double privilége pour ses moulins à farine et pour une voiture à vapeur. Sa première requête fut bien accueillie, mais la pauvre chambre de Pensylvanie ne comprit rien à la seconde, et ne pouvant se décider à prendre au sérieux le projet d'une voiture qui marcherait sans chevaux, elle ne voulut pas même en faire mention dans son rapport : « Entre nous, disaient les membres de la commission, le cher Olivier n'a pas la tête saine. » Il revint à la charge dix ans après; mais mieux inspiré cette fois, il s'adressa à la législature du Maryland. Le parlement de cet État céda à

ses sollicitations. Un privilége pour la construction de chariots à vapeur lui fut concédé le 21 mai 1797, non toutefois sans l'expression d'un doute très prononcé, et « vu, disait le rapport, que cela ne peut nuire à personne. »

Cette approbation équivoque ne pouvait guère encourager les capitalistes à entrer dans l'entreprise d'Olivier Evans. Toutes les bourses se fermèrent devant le songe-creux qui rêvait des voitures sans chevaux. Si mal accueilli de ses compatriotes, Evans se décida à envoyer à Londres les plans de sa machine et des divers moyens qu'il comptait mettre en œuvre. Il désirait trouver en Angleterre quelque capitaliste qui consentît à prendre un brevet, en partageant avec lui les bénéfices de l'exploitation. Mais on lui répondit de Londres que personne n'ajoutait foi à ses idées.

Cependant, vers l'année 1800, ayant amassé une petite somme, Olivier Evans se détermina à commencer à ses frais la construction de sa voiture à vapeur. On s'occupait beaucoup à Philadelphie de la machine qu'il était en train de construire, mais ce n'était que pour la tourner en ridicule, et la plupart des personnes instruites qui venaient visiter ses ateliers traitaient ouvertement son projet de folie. Un ingénieur qui jouissait d'un certain renom voulut donner à ce blâme public la sanction scientifique, et, dans un mémoire qu'il présenta à la *Société philosophique* de Philadelphie, il essaya de prouver qu'il était impossible qu'une voiture roulât jamais par l'action de la vapeur. Heureusement pour son crédit futur, la Société ne laissa pas imprimer cette assertion, et biffa la partie de ce travail où elle se trouvait émise, « attendu, dit-elle avec beaucoup de sens, qu'on ne peut assigner de bornes au possible. »

En dépit de l'opposition et des critiques qu'il soulevait, Olivier Evans s'occupa de terminer ses divers appareils, et vers la fin de 1800, ayant dépensé jusqu'à son dernier dollar en expé-

riences, il eut la satisfaction de voir sa voiture à vapeur marcher dans les rues de Philadelphie. Mais son contentement devait s'arrêter là. Lorsqu'il fut question de fonder une entreprise pour construire des voitures semblables et les affecter à un service de roulage, personne ne se montra disposé à courir les chances d'une affaire si nouvelle, de telle sorte qu'au bout de plusieurs années d'efforts et de sollicitations inutiles, Evans se vit contraint de renoncer sans retour au projet qu'il poursuivait depuis vingt ans. Il revint donc aux travaux ordinaires de sa profession de constructeur de machines à vapeur, et se consacra d'une manière toute spéciale à fabriquer des machines à haute pression. Il fonda à Philadelphie de grands ateliers pour leur confection ; son fils dirigeait à Pittsburg un établissement analogue. Les nombreux appareils à haute pression qu'il répandit dans les États-Unis finirent par démontrer avec évidence la vérité trop longtemps contestée de ses assertions, et bien que cet enthousiaste inventeur s'exagérât beaucoup la puissance des effets dynamiques de la vapeur à haute pression, on peut dire que c'est à lui seul qu'il faut rapporter l'honneur des innombrables services que ce genre de machines rend aujourd'hui à l'industrie et aux arts.

Cependant Olivier Evans ne devait pas être témoin de l'extension prodigieuse que ses idées ont reçue. Le 11 mars 1819, un incendie considérable réduisit en cendres son établissement de Pittsburg, et anéantit pour plus de 100,000 francs de machines. Ce désastre fut pour lui le coup de la mort ; il expira quatre jours après.

Les machines à haute pression ont eu beaucoup de peine à s'introduire en Europe, et la lutte a duré longtemps entre la machine à condenseur, sortie des ateliers anglais, et la machine à haute pression, d'origine américaine. La machine de Watt, création éminemment nationale, s'était pour ainsi dire identifiée avec l'industrie de la Grande-Bretagne, qui avait engagé

dans son exploitation des capitaux immenses. Il était cependant difficile de méconnaître, dans certains cas spéciaux, les avantages de ces nouveaux appareils, qui ne demandent qu'un emplacement exigu, et qui, avec un mécanisme des plus simples, développent une puissance extraordinaire. Deux mécaniciens du Cornouailles, Trevithick et Vivian, adoptant les premiers les idées d'Olivier Evans, construisirent, dès l'année 1801, des machines à haute pression. Frappés bientôt des avantages qu'elles offraient pour l'application de la vapeur à la locomotion, ils essayèrent, à l'exemple d'Olivier Evans, de construire des voitures mises en mouvement par de la vapeur à haute pression. Ayant réussi dans cette tentative, ils obtinrent un brevet pour exploiter à leur profit des voitures à vapeur destinées à marcher sur les routes ordinaires.

La voiture à vapeur de Trevithick et Vivian présentait à peu près la forme de nos diligences. Entre les grandes roues, et par conséquent à l'arrière, se trouvait un large et solide châssis de fer, fixé sur l'essieu, qui supportait une chaudière et un cylindre à vapeur. Ce cylindre, disposé horizontalement et dans la direction de l'axe de la route, se terminait par une tige ou bielle qui imprimait un mouvement de rotation à un axe coudé, lequel, par l'intermédiaire d'un engrenage, faisait tourner les roues de derrière. Les roues de devant, qui présentaient la forme habituelle, pouvaient se mouvoir en tous sens. Pour suivre les diverses inflexions de la route, pour aller à droite, à gauche, etc., le mécanicien pouvait arrêter l'engrenage de l'une des grandes roues motrices; dès lors, la roue opposée agissait seule et permettait d'imprimer à la voiture la direction convenable. Un frein disposé contre le volant de la machine à vapeur modérait la vitesse dans les descentes trop rapides.

Le curieux appareil de Trevithick et Vivian offrait diverses combinaisons très ingénieuses; cependant il était impossible qu'il triomphât des difficultés infinies que présente la progres-

sion, sur les grandes routes, des voitures à vapeur. Le frottement énorme qui s'opère à la circonférence des roues oppose un obstacle des plus graves à ce genre de locomotion : il est reconnu que sur les meilleures routes, la résistance à vaincre, par suite du frottement, représente les quatre centièmes du poids à transporter, et s'il s'agit de franchir une rampe de 3 centimètres, ce qui arrive fréquemment, elle s'élève aux sept centièmes de la charge. On peut sans doute surmonter cette résistance en faisant usage de machines plus puissantes, mais chaque nouveau poids ajouté augmente encore le frottement, qui croît, dans ce cas, en proportion de la pesanteur. Cette difficulté n'existe pas sur les bateaux, dans lesquels on peut à volonté augmenter la puissance des machines motrices, car les poids les plus lourds sont soutenus par l'eau sans que la résistance que le frottement oppose à la marche du bâtiment s'accroisse en proportion de ces poids. Enfin la locomotion par la vapeur présente sur la terre d'autres difficultés qui sont tout aussi graves. Les chocs inévitables qui résultent des inégalités du terrain y compromettent à chaque instant le jeu et la conservation de la machine, et la difficulté de contenir et de régler la marche d'une semblable voiture, sur un chemin livré à tous les embarras de la circulation publique, vient encore ajouter à ces dangers.

Trevithick et Vivian ne tardèrent pas à reconnaître leur impuissance à triompher de tels obstacles. Après un grand nombre d'essais infructueux, ils se virent obligés de renoncer à leur projet de lancer des voitures à vapeur sur les routes. Désireux néanmoins de ne pas perdre tout le fruit de leurs travaux, ils songèrent à établir leur machine sur les chemins à rails de fer, qui depuis fort longtemps étaient en usage dans plusieurs mines de l'Angleterre, soit pour transporter la houille dans l'intérieur des galeries, soit pour l'amener aux lieux de consommation. Quelques essais leur suffirent pour reconnaître qu'une voiture

à vapeur pourrait offrir, dans ce cas, quelques avantages, et au mois de mars 1802, ils obtinrent un brevet leur conférant le privilége de l'emploi de ces voitures sur les chemins à rails. Ils n'ajoutaient cependant qu'une assez faible importance à ce projet, par suite de l'opinion unanimement admise à cette époque, que les roues d'une voiture portant sur des rails de fer ne pourraient y trouver assez de frottement ou de prise pour marcher avec une certaine vitesse. La lenteur, qui semblait une condition forcée de ce système de locomotion, paraissait devoir restreindre beaucoup son emploi, et le réduire au service exclusif des mines. L'emploi de la machine de Trevithick sur les chemins à rails ne fut donc qu'une sorte de pis-aller, une manière de tirer quelque parti des résultats d'une tentative évidemment avortée. On ne soupçonnait guère en ce moment les prodiges que l'expérience et l'étude devaient faire sortir un jour de cette entreprise à demi abandonnée.

CHAPITRE II.

Origine des chemins à rails. — Chemins à rails de bois des mines de Newcastle. — Chemins à rails de fer. — Emploi de la locomotive de Trevithick et Vivian sur le chemin de fer de Merthyr-Tydvil. — Erreur théorique sur la progression des locomotives. — Systèmes de MM. Blenkinsop, Chapman et Brunton. — Expériences de M. Blackett. — Progrès dans la construction des locomotives. — Découverte de la chaudière tubulaire par M. Seguin.

Les routes à ornières artificielles, sur lesquelles Trevithick et Vivian crurent devoir reléguer leur voiture à vapeur, se trouvaient, depuis longues années, en usage en Angleterre. Pour diminuer les effets du frottement considérable que les roues éprouvent sur le sol, on avait eu l'idée de les assujettir à tour-

ner sur des bandes de bois parallèles, disposées sur toute l'étendue de la distance à franchir. On ignore l'époque précise du premier établissement de ces voies artificielles, qui furent employées pour la première fois à Newcastle. On sait seulement qu'elles existaient vers la fin du XVIIe siècle. Un ouvrage publié en 1696, la *Vie de lord Keepernorth*, nous fait connaître l'existence, à cette époque, de chemins à rails de bois dans les houillères de Newcastle. « Les transports, dit l'auteur de cet ouvrage, s'effectuent sur des rails de bois parfaitement droits et parallèles, établis le long de la route depuis la mine jusqu'à la rivière ; on emploie sur ce genre de chemin de grands chariots portés par quatre roues, qui reposent sur les rails. Il résulte de cette disposition tant de facilité dans le tirage, qu'un seul cheval peut descendre de quatre à cinq *chaldrons*, ce qui procure aux négociants un avantage immense. » Cette observation de notre auteur était parfaitement fondée ; on comprend sans peine tous les bénéfices que devait fournir, pour l'économie de la force motrice, la substitution d'une surface plane et polie aux inégalités des routes ordinaires. Aussi l'emploi de ces ornières artificielles donna-t-il les meilleurs résultats dans les mines de Newcastle. Les immenses transports que l'on y faisait, de l'orifice des mines au lieu de chargement, sur la Tyne, rendaient précieux à divers titres cet ingénieux système. Un cheval pouvait traîner, sur ces rails, une charge presque triple de celle qu'il transportait sur une route ordinaire. Les rails employés à cette époque étaient faits de bois de chêne ou de sapin ; ils avaient ordinairement 1^m,8 de longueur, et portaient sur des traverses placées à 60 centimètres les unes des autres.

Les chemins à rails de bois employés à Newcastle furent adoptés dans quelques gisements houillers des comtés de Durham et de Northumberland, et dans quelques autres provinces de l'Angleterre. Les frais d'établissement et d'entretien étaient

considérables, mais ils étaient bientôt couverts par l'économie des transports.

Ce genre de chemin offrait cependant divers inconvénients. Le frottement des roues usait les rails avec assez de rapidité ; il fallait les renouveler souvent, et comme la voie devait toujours conserver la même largeur, on était obligé de fixer les nouvelles pièces de bois aux mêmes points d'attache, ce qui provoquait une détérioration rapide des traverses. L'action des pieds des chevaux sur le milieu de la route, où les supports se trouvaient à découvert, hâtait encore cette détérioration. Enfin, par suite de la flexibilité du bois, les rails cédaient aisément au poids des chariots, et quand la pluie les avait pénétrés, ils offraient une résistance assez prononcée au tirage.

Le peu de résistance et de durée des rails de bois fit naître l'idée de les revêtir de bandes de fer, dans les parties de la route qui présentaient des courbes ou des pentes trop prononcées. Ainsi modifié, ce système de transport fut bientôt adopté dans la plupart des exploitations houillères de la Grande-Bretagne. Bien qu'imparfait à divers égards, il fut conservé pendant plus de soixante ans sans modification notable.

On finit cependant par reconnaître les avantages que donnaient, pour la diminution du frottement, les plaques de fer appliquées sur les rails de bois, en certains points de la route. Cette observation suggéra l'idée de généraliser l'emploi du fer, et de remplacer, sur toute l'étendue du chemin, les rails de bois par des bandes métalliques. Aux madriers ferrés on substitue donc des rails coulés en fonte. Cette amélioration importante fut essayée pour la première fois en 1738, et adoptée trente ans après d'une manière définitive. C'est ce qui résulte du passage suivant des *Transactions highland Society :* « En 1738, est-il dit dans ce recueil, les rails de fonte furent, pour la première fois, substitués aux rails de bois ; cet essai ne réussit pas

complétement, parce que l'on continua à employer les chariots de forme ancienne, dont la charge était trop forte pour la fonte. Néanmoins, vers 1768, on eut recours à un moyen fort simple, on construisit un certain nombre de chariots de plus petite dimension, on les joignit ensemble, et en divisant ainsi la charge, on détruisit la cause principale du peu de succès de la première tentative (1). » Cette heureuse innovation de l'emploi de la fonte fut réalisée en 1768, par l'ingénieur William Reynolds, l'un des propriétaires de la grande fonderie de Colerook-Dale, dans le Shropshire.

Les rails de fonte employés par Reynolds présentaient, à l'extérieur, un rebord saillant destiné à fixer et à maintenir la roue du wagon, de manière à l'empêcher de sortir de la voie. Mais la poussière ou la boue du chemin s'accumulaient entre ce rebord et le rail, et amenaient ainsi, sur les routes ferrées, une partie des inconvénients des routes ordinaires. En 1789, sur le chemin de fer de Longhboroug, W. Jessop remplaça les rails à rebord par des rails droits, c'est-à-dire par une simple bande de fer; seulement, pour assurer le maintien du wagon sur le rail, on arma les roues d'un rebord saillant de un pouce de largeur, ce qui le maintenait invariablement dans cette sorte d'ornière artificielle formée aux dépens de la roue même du wagon. Depuis 1789 jusqu'à l'année 1811, tous les rails employés en Angleterre pour le service des mines furent construits d'après ce principe. Le seul perfectionnement que les voies ferrées présentèrent depuis cette époque consista dans la substitution du fer à la fonte. La fabrication du fer ayant reçu dans cet intervalle des perfectionnements qui eurent pour effet d'abaisser de beaucoup le prix de ce métal, cette substitution importante put être enfin réalisée : la malléabilité et la ténacité du fer, comparées à celles de la fonte, offraient

(1) *Transactions highland Society*, vol. VI, p. 7.

des conditions précieuses pour la résistance et la solidité des rails.

Les chemins de fer ainsi construits existaient en assez grand nombre en Angleterre, dans les mines de houille, lorsque Trevithick et Vivian obtinrent leur brevet pour l'emploi des voitures à vapeur sur les routes ferrées. Leur locomotive, qui fut adoptée en 1804 sur le chemin de fer de Merthyr-Tydvil, ne différait que fort peu d'ailleurs de la diligence à vapeur qu'ils avaient construite précédemment pour les routes ordinaires. Elle se composait d'un seul cylindre disposé horizontalement ; le piston transmettait son mouvement aux roues à l'aide d'une bielle et de deux engrenages.

Trevithick et Vivian recommandaient, dans leur brevet, de garnir de quelques aspérités ou rainures transversales la jante des roues de la locomotive, afin de provoquer plus de frottement, et de remédier ainsi au glissement de la roue sur la surface polie du rail. Ils proposaient même, quand la résistance serait considérable, de placer, sur la circonférence des roues, une sorte de cheville ou de griffe ayant prise sur le sol. En effet, tous les savants admettaient à cette époque, que la principale difficulté qui devait s'opposer à l'emploi des locomotives sur les chemins de fer, consistait dans le défaut d'adhésion des roues sur le rail : on pensait que la surface unie de ces bandes métalliques n'offrait pas assez de frottement pour que la roue pût y trouver une prise suffisante, et l'on concluait que l'action de la vapeur aurait seulement pour effet de faire tourner les roues sur place sans entraîner leur progression : « Entre deux surfaces planes, disent Trevithick et Vivian, dans un mémoire sur ce sujet, l'adhésion est trop faible ; les voitures sont exposées à glisser, et la force d'impulsion est perdue. » C'est pour cela qu'ils recommandaient de rendre, autant que possible, inégale et raboteuse la jante des roues de leur locomotive. Cette idée inexacte avait été émise par suite d'une simple vue

de l'esprit, et sans aucune expérience préalable. Cependant, adoptée sans autre examen par tous les ingénieurs, elle constitua dès ce moment l'obstacle devant lequel la science des chemins de fer resta longtemps stationnaire.

Cette aberration des savants fournit un exemple singulier des conséquences fâcheuses auxquelles peut conduire une opinion théorique formée hors du domaine de l'expérience. Depuis la construction de la première locomotive de Trevithick, tous les efforts des praticiens s'appliquèrent à triompher d'une difficulté imaginaire, et l'on fut amené par là à toute une série d'inventions malheureuses et de créations bizarres dont nous abrégerons la triste nomenclature. C'est ainsi qu'en 1811, M. Blenkinsop, directeur du chemin de fer des houillères de Middleton, imagina un système de locomotive dans lequel les roues n'avaient plus d'autre fonction que de supporter l'appareil moteur; l'un des rails était pourvu de dents, et sur cette crémaillère venait engrener une roue dentée mise en mouvement, à l'aide de renvois convenables, par le piston de la machine à vapeur. Ces dentelures devaient, on le comprend sans peine, augmenter singulièrement les effets du frottement et de la résistance. Cependant, le système de Blenkinsop servit plus de douze années aux transports de la houille. En 1812, William et Edward Chapman substituèrent à la crémaillère de Blenkinsop un système tout aussi vicieux : ils placèrent au milieu de la voie et de distance en distance, divers points fixes sur lesquels la locomotive était remorquée par une machine à vapeur, à l'aide d'une corde qui s'enroulait sur une espèce de tambour; le câble était détaché aussitôt que la locomotive était arrivée à chacun des points fixes échelonnés sur la route. Ce procédé fut quelque temps employé sur le chemin de fer de Heaton près Newcastle. Enfin, en 1813, un ingénieur d'ailleurs fort distingué, M. Brunton, alla jusqu'à faire agir la puissance de la vapeur, non pas sur les roues de la locomotive, mais sur des

espèces de béquilles mobiles qui, pressant contre le sol et se relevant ensuite comme la jambe d'un cheval, poussaient en avant la voiture. Il y avait dans cette étrange disposition de quoi briser en mille pièces, par suite des secousses, les plus robustes machines. Un accident arrivé à la chaudière empêcha de continuer les essais.

On aurait pu longtemps encore tourner, sans de meilleurs résultats, dans le cercle de ces difficultés imaginaires. Heureusement on se décida à finir par où l'on aurait dû commencer. En 1813, un ingénieur, M. Blackett, mieux avisé que le reste de ses confrères, se proposa de rechercher quel était le degré d'adhérence des roues d'une locomotive sur la surface des rails, et de déterminer, par expérience, la quantité de force que faisait perdre le glissement de la roue. Les circonstances vinrent à son aide, car les rails du chemin de fer de Wylam, sur lequel il fit ses essais, étaient plats et d'une grande largeur, au lieu d'offrir la section elliptique et la faible surface que présentaient alors la plupart des rails établis dans les mines de l'Angleterre. Grâce à cette particularité, et peut-être aussi par suite du poids considérable de la locomotive dont il faisait usage, M. Blackett fut amené à reconnaître qu'en raison des aspérités qui existent toujours sur la surface du fer, quelque unie qu'elle soit par le frottement, les roues de la locomotive peuvent mordre suffisamment sur le rail pour y prendre un point d'appui. Il constata par une série d'expériences, que le poids de la locomotive suffit pour déterminer l'adhésion des roues, s'opposer à leur rotation sur place, et provoquer ainsi la marche des plus lourds convois.

J'ignore si la légende qui représente Archimède s'élançant, à demi nu, dans les rues de Syracuse, en criant : *Eureka!* est parfaitement authentique ; en revanche, on me dirait qu'à la vue du résultat de ses expériences, l'honorable M. Blackett se livra à un pareil accès de joie et de folie, je le croirais sans trop

de peine. En effet, l'obstacle en apparence si grave, qui arrêtait depuis dix ans la science des chemins de fer, venait de disparaître en un moment, et les locomotives, qui n'avaient été admises sur les chemins à rails qu'à contre-cœur et comme pis-aller, étaient en mesure de fournir, dans un intervalle prochain, des résultats devant lesquels l'imagination aurait reculé jusqu'à cette époque. Moins d'une année après les expériences de M. Blackett, la première locomotive qui ait fonctionné avec succès sur une ligne de fer sortait des ateliers de George Stephenson. Elle fut construite en 1814, dans les houillères de Killingworth. L'année suivante, Stephenson et Dodd perfectionnèrent ce premier modèle; les modifications introduites dans son mécanisme ne permettaient cependant que d'atteindre la faible vitesse d'une lieue et demie à l'heure.

Deux compagnies anglaises ont fait ériger une statue monumentale de bronze à George Stephenson, comme *inventeur principal* des locomotives. Nous ne contesterons pas la convenance d'un tel hommage rendu à l'homme éminent qui, simple ouvrier mineur, parvint, par de longues études accomplies au milieu de ses pénibles travaux, à s'élever au rang des premiers ingénieurs de son pays. On ne peut cependant s'empêcher de remarquer que la locomotive construite par George Stephenson, en 1815, était loin de présenter la solution complète du problème de la locomotion par la vapeur, et qu'elle ne différait que fort peu, dans ses conditions essentielles, de la machine construite par Trevithick dix années auparavant. La chaudière de la locomotive de Stephenson offrait une forme cylindrique allongée; elle avait $2^m,44$ de long sur $1^m,80$ de diamètre. Un tube horizontal de $0^m,50$ de diamètre, qui recevait le combustible, la traversait intérieurement. De cette chaudière partaient deux cylindres disposés verticalement, et qui communiquaient le mouvement aux deux essieux de la voiture au moyen de deux tiges appliquées aux extrémités

d'une traverse, comme dans la machine de Trevithick et Vivian. Le jeu des deux pistons agissant sur chaque essieu était croisé, de manière à ne pas laisser d'interruption dans l'action motrice.

Ces premières locomotives de George Stephenson furent employées sur le chemin de fer des usines de Killingworth. Elles servirent ensuite à traîner les convois de charbon sur le chemin de fer de Darlington à Stockton. Ce dernier chemin avait été établi en 1815, pour servir au transport des houilles provenant de Darlington ; on avait d'abord employé des chevaux, on leur substitua ensuite la locomotive de Stephenson. Cependant, par suite de la faiblesse de la machine, les convois ne marchaient qu'avec beaucoup de lenteur ; ils employaient ordinairement quatre heures à parcourir la distance de sept lieues qui sépare la plaine de Brusselton de la ville de Stockton ; au retour, les chariots vides mettaient cinq heures à faire le même trajet, en raison d'une faible pente qu'il fallait remonter.

Les chemins de fer commençaient donc à rendre quelques services à l'industrie : ils servaient à transporter la houille et certaines marchandises avec plus d'économie que le roulage. Mais ce système était encore dans l'enfance, il ne pouvait fonctionner qu'avec une lenteur extrême, et rien n'annonçait les prodiges qu'il devait réaliser dans un délai peu éloigné.

Par quel coup de baguette magique cette invention, si languissante depuis son origine, subit-elle la transformation inespérée dont nous admirons aujourd'hui les résultats ? Comment les locomotives, qui n'avaient pu servir encore qu'au transport des marchandises, se trouvaient-elles, une année après, susceptibles de s'appliquer au transport des voyageurs, en réalisant une vitesse qui, jusqu'à ce moment, aurait paru fabuleuse ? Cette révolution fut opérée tout entière par une simple modification apportée à la forme des chaudières des locomotives. La découverte des *chaudières tubulaires* vint changer brusque-

ment la face des chemins de fer, car son application permit d'obtenir immédiatement, sur ces voies artificielles, une vitesse de douze lieues à l'heure. Ce ne sera pas pour notre pays un faible titre de gloire : cette découverte mémorable appartient à un ingénieur français.

La compagnie propriétaire des gisements houillers de Saint-Étienne et de Rive-de-Gier avait obtenu, en 1826, l'autorisation d'établir une route ferrée pour faciliter le transport des charbons de Saint-Étienne à Lyon. Ce chemin de fer devait être desservi par des chevaux ou par des machines fixes remorquant les convois sur les pentes trop roides. L'art de construire les locomotives ne s'était pas encore introduit en France; la compagnie du chemin de fer de Saint-Étienne fit donc acheter, en 1829, deux locomotives à Manchester, dans les ateliers de Stephenson. L'une d'elles fut envoyée, comme objet d'étude, à M. Hallette, constructeur de machine à Arras; l'autre fut amenée à Lyon pour servir de modèle à celles que devait y faire construire M. Seguin aîné, directeur du chemin de fer de Saint-Étienne. A la suite des différents essais auxquels ces machines furent soumises, on reconnut que leur vitesse moyenne ne dépassait pas six kilomètres à l'heure. C'est alors que M. Seguin, frappé de l'insuffisance de cette vitesse, fut amené à en rechercher la cause. Le vice de la locomotive de Stephenson résidait, comme il le reconnut sans peine, dans la forme de la chaudière. La force d'une machine à vapeur dépend de la quantité de vapeur qu'elle produit dans un temps donné ; or, comme nous l'avons vu, la quantité de vapeur fournie par une chaudière est proportionnelle à l'étendue de la surface que celle-ci présente à l'action du feu. Dans la chaudière de Stephenson, cette surface était insuffisante, car le foyer, placé dans l'axe de la chaudière, ne pouvait agir que sur la partie cylindrique qui l'enveloppait. Le problème du perfectionnement des locomotives consistait donc à accroître la quantité de vapeur fournie par le générateur,

sans augmenter ses dimensions au delà de certaines limites. M. Seguin donna une solution des plus brillantes de cette grave difficulté. Il fit traverser la chaudière par une nombreuse série de tubes d'un très petit diamètre, dans l'intérieur desquels venaient circuler l'air chaud et la fumée qui s'échappaient du foyer. La surface offerte à l'action du feu devenait ainsi infiniment considérable: avec un générateur de dimensions ordinaires, on pouvait offrir une surface de plus de 150 mètres à l'action de la chaleur. L'air chaud, traversant ces tubes, vaporisait rapidement l'eau qui remplissait leurs intervalles, et provoquait, dans un temps très court, le développement d'une énorme quantité de vapeur. Les chaudières des premières locomotives de M. Seguin contenaient quarante-trois de ces tubes; on ne tarda pas à les porter jusqu'à soixante-quinze, et plus tard jusqu'à cent et même cent vingt-cinq.

Il restait cependant une autre difficulté à surmonter. On ne pouvait employer sur les locomotives que des cheminées d'une hauteur médiocre, car les longues cheminées en usage dans nos usines pour activer la combustion auraient compromis la stabilité de tout le système, et obligé d'accroître au delà de toute proportion raisonnable les dimensions des ponts et des souterrains traversés par les convois. Or il était à craindre qu'avec de courtes cheminées, le tirage ne s'établît qu'avec beaucoup de peine au milieu de cette longue série de tubes étroits traversés par le courant d'air chaud. M. Seguin triompha de cette seconde difficulté en disposant devant le foyer un ventilateur destiné à provoquer un tirage artificiel. Ce ventilateur, mis en mouvement par la machine elle-même, fut d'abord placé sous le foyer; on le transporta ensuite dans la cheminée. « Le plus grand obstacle que j'entrevoyais, dit M. Seguin aîné (1), à

(1) *De l'influence des chemins de fer, et de l'art de les tracer et de les construire*, p. 429.

l'accomplissement de mon projet, était la difficulté de parvenir à obtenir, dans le foyer, un courant d'air assez fort pour déterminer les produits de la combustion à passer au travers des tubes qui remplaçaient la cheminée de la chaudière. Je craignais que la faiblesse de leur diamètre, en augmentant les surfaces, ne causât assez de retard dans la marche de l'air pour anéantir entièrement le tirage. Il fallait donc avoir recours à un moyen d'alimentation artificielle absolument indépendant du tirage de la cheminée. C'est ce que j'obtins au moyen des ventilateurs à force centrifuge ; après quelques essais, je parvins à produire jusqu'à 1200 kilogrammes de vapeur à l'heure, en employant des chaudières de 3 mètres de longueur sur $0^m,80$ de diamètre, renfermant quarante-trois tuyaux de $0^m,04$ de diamètre (1). »

Mais le ventilateur de M. Seguin était peu commode et entraînait divers inconvénients. L'important problème d'activer le tirage de la cheminée des locomotives fut résolu beaucoup plus heureusement par une admirable idée dont on a fait honneur à un physicien français, M. Pelletan, mais qui était connue en Angleterre bien longtemps avant lui. Robert Stephenson paraît l'avoir appliquée le premier aux locomotives. Au lieu de provoquer le tirage par l'emploi d'un ventilateur, Stephenson dirigea dans l'intérieur du tuyau de la cheminée, *le jet de vapeur qui s'échappe des cylindres après avoir produit son action.* Au lieu de rejeter simplement dans l'atmosphère la vapeur à haute pression quand elle a produit son effet mécanique, il la lançait dans la cheminée. Comment ce moyen peut-il servir à activer le tirage du foyer? La vapeur dirigée dans la cheminée s'y condense subitement, cette condensation produit aussitôt un vide dans cet espace ; l'air arrivant du foyer se précipite aussitôt pour le remplir, et

(1) M. Seguin obtint en France, le 20 décembre 1829, un brevet pour la construction des chaudières tubulaires et pour l'application d'un ventilateur mécanique au foyer des locomotives.

grâce à cet artifice si simple, le tirage acquiert une activité extrême. Les chaudières tubulaires et l'injection de la vapeur dans la cheminée, sont les deux découvertes capitales qui ont contribué à donner à la machine locomotive la puissance extraordinaire de vitesse qui la distingue aujourd'hui.

Cependant la belle invention de Seguin n'aurait peut-être que très lentement porté ses fruits, si, comme on l'a vu en d'autres occasions, l'Angleterre, pressée par les besoins et l'activité immense de son industrie, ne s'en fût heureusement emparée, et n'eût ainsi rendu son utilité évidente à tous les yeux. Les chaudières tubulaires furent adoptées en 1830 par Robert Stephenson, dans les locomotives qu'il construisit pour le chemin de Liverpool à Manchester, et les résultats remarquables qu'il en obtint déterminèrent la préférence qui fut accordée aux machines locomotives pour le service du nouveau railway. Au reste, la création du chemin de Liverpool à Manchester forme la période la plus importante, sans aucun doute, de l'histoire des chemins de fer. C'est à cette époque que la supériorité des locomotives, comme agent de traction sur les voies ferrées, a été pour la première fois constatée. L'établissement de ce premier chemin de fer a provoqué la création successive de tous les autres railways de la Grande-Bretagne, et les chemins de fer anglais ont amené l'emploi de ce système de locomotion dans les diverses contrées des deux mondes. Il ne sera donc pas inutile de rappeler les circonstances qui firent naître le projet de ce premier chemin de fer et qui déterminèrent son exécution.

CHAPITRE III.

Origine du chemin de fer de Liverpool à Manchester. — Adoption des machines locomotives pour le service de ce chemin. — Concours de locomotives à Liverpool. — La *Fusée* de Robert Stephenson. — Établissement définitif des chemins de fer dans la Grande-Bretagne et dans les autres parties de l'Europe.

Au commencement du XVIIIe siècle, on lisait l'affiche suivante sur les murs de la cité de Londres : « *A partir du* 18 *avril* 1703, *ceux qui désirent aller de Londres à York, ou de York à Londres, sont priés de se rendre à l'hôtel du* CYGNE NOIR, *dans Holburne, à Londres, ou dans Coney-street à York; ils y trouveront une diligence qui part les lundi, mercredi et vendredi, et accomplit le voyage entier en quatre jours, si Dieu le permet.* »

En Ecosse, à la même époque, toutes les marchandises étaient transportées à dos de cheval. En 1750, la voiture publique qui faisait le service entre Edimbourg et Glasgow, distants seulement de seize lieues, employait un jour et demi à ce trajet. Il n'y avait en 1763, entre Edimbourg et Londres, qu'une seule voiture, qui mettait quinze jours à faire un voyage que les diligences ordinaires accomplissent aujourd'hui en quinze heures.

L'importante route de Liverpool à Manchester n'était pas placée dans de meilleures conditions, et les lignes suivantes d'Arthur Young donneront une idée de son état de viabilité il y a seulement quatre-vingts ans : « Je n'ai pas de termes, dit Arthur Young, pour décrire cette route infernale. J'engage très sérieusement les voyageurs que leur mauvaise étoile pour-

rait conduire dans ce pays, à tout faire pour éviter cette maudite traverse, car il y a mille à parier contre un qu'ils s'y casseront le cou, ou pour le moins un bras ou une jambe. Ils y trouveront à chaque pas des ornières profondes de quatre pieds, et remplies de boue même en été. Je laisse à penser ce que ce doit être en hiver! Le seul palliatif à un pareil état de choses consiste à jeter dans ces trous, j'allais dire dans ces précipices, quelques pierres perdues dont l'effet est de secouer horriblement les voitures. Pour ma part, j'ai brisé trois fois la mienne sur ces dix-huit milles d'exécrable mémoire. »

Ce triste état des routes apportait naturellement de grands obstacles au commerce du pays. Le roulage était d'une lenteur insupportable, et il tenait ses tarifs à un taux si élevé, que l'on ne pouvait y avoir recours que pour des produits offrant beaucoup de valeur sous un faible volume. Le prix des transports de Liverpool à Manchester, par exemple, était de 50 francs par tonne, ce qui représente 90 centimes par kilomètre, ou quatre fois le prix actuel du roulage en France. Il résultait de là que les marchandises lourdes ou encombrantes, telles que le fer ou la houille, ne pouvaient être utilisées que sur les lieux de production, toutes les fois qu'elles ne se trouvaient pas à proximité d'une rivière navigable. Aussi la plupart des gisements houillers restaient-ils improductifs par suite de ce défaut de voies de communication, et telle était, par exemple, la condition où se trouvaient les vastes houillères que le duc de Bridgewater possédait à Worsley, à trois lieues de Manchester, et qui restaient inexploitées faute de voies praticables.

Dans ces circonstances, le duc de Bridgewater, homme de savoir et de résolution, entreprit de créer un nouveau système de transports. Secondé par l'habile ingénieur Brindley, il fit creuser le canal qui porte son nom, et qui constitue la première de ces voies de communication artificielles que l'Angleterre ait possédée. Le plus grand succès couronna cette entre-

prise, et grâce aux nouveaux débouchés offerts aux produits de ses houillères, le jeune lord accrut considérablement sa fortune. Excités par cet exemple, un grand nombre de propriétaires de mines firent appel, pour de semblables entreprises, aux capitalistes du pays; si bien qu'au bout de quelques années, le magnifique réseau fluvial qui couvre l'Angleterre était terminé dans presque toute son étendue : mille lieues de navigation artificielle étaient livrées à la circulation des marchandises.

L'état déplorable des routes de terre, encore aggravé par le système de péage que le gouvernement avait établi sur les routes améliorées par lui, rendait alors toute concurrence impossible contre la navigation des canaux. Les compagnies n'eurent donc pas de peine à monopoliser le transport des marchandises, et elles réalisèrent bientôt des bénéfices considérables. C'est en vain que dans l'espoir de maintenir dans de justes limites le tarif des transports, le gouvernement autorisa l'établissement de compagnies rivales pour l'exploitation des canaux; l'intérêt commun fit réunir les anciennes et les nouvelles compagnies, toute concurrence fut détruite, et le commerce fut astreint à des prix exorbitants. On imaginait toutes sortes de moyens pour éluder les prescriptions légales, et c'est ainsi que les propriétaires du canal de Bridgewater étaient parvenus à percevoir, de Liverpool à Manchester, un péage de 18 francs 75 centimes, malgré le bill qui leur assignait un tarif maximum de 7 francs 50 centimes.

Le commerce toléra longtemps ces exactions; on se rappelait la situation où se trouvait l'industrie manufacturière avant l'établissement des canaux, et l'on aimait encore mieux subir, pour les transports, des tarifs élevés, que de garder ses marchandises en magasin. Mais ce que l'on ne put supporter avec la même longanimité, ce fut la négligence qui finit par s'introduire dans le service des canaux. Encouragées par les facilités

qu'elles trouvaient à réaliser de gros bénéfices, les compagnies poussèrent plus loin les abus : les transports n'atteignirent pas seulement à des prix extravagants, ils furent encore faits avec peu de soin et une lenteur excessive. De 1826 à 1830, de nombreuses pétitions furent adressées au parlement pour dénoncer ces faits; l'un des pétitionnaires citait plusieurs cas dans lesquels des balles de coton, venues d'Amérique en vingt et un jours, avaient mis un mois et demi pour arriver de Liverpool à Manchester, c'est-à-dire pour faire un trajet de seize lieues.

On ne pouvait supporter davantage un tel désordre. Le mécontentement, longtemps comprimé, fit explosion. Plusieurs meetings furent tenus dans diverses villes de l'Angleterre, pour aviser aux moyens de sortir de cette situation. Une réunion de ce genre, composée d'un nombre prodigieux de personnes, eut lieu à Liverpool le 20 mai 1826. A la suite de nombreux discours prononcés par divers orateurs, il fut décidé qu'une compagnie serait organisée pour établir, de Liverpool à Manchester, un chemin de fer destiné à faire concurrence aux trois canaux qui aboutissent à cette dernière ville.

Les compagnies essayèrent de parer le coup qui les menaçait. Elles se réunirent pour abaisser les tarifs, comme elles s'étaient réunies autrefois pour les élever. Mais il était trop tard. Tous leurs efforts, toutes leurs sollicitations auprès des membres des deux chambres, n'aboutirent qu'à retarder de deux ans la concession du chemin de fer, dont l'établissement fut autorisé par le Parlement à la fin de 1828.

Dans la pensée des créateurs de l'entreprise, le chemin de Liverpool à Manchester ne devait être consacré qu'au transport des marchandises. Liverpool, situé sur la Mersey, près de son embouchure dans la mer d'Irlande, est le port d'Angleterre où viennent débarquer le plus grand nombre de bâtiments partis du nouveau monde, et Manchester est la grande cité manufac-

turière où se fabriquent les mille tissus formés des provenances de l'Amérique. Les convois innombrables de marchandises qui, en tout temps, sillonnent cette route, devaient fournir une ample ressource à l'exploitation du futur railway. Aussi l'idée n'était-elle venue à personne d'appliquer ce chemin au service des voyageurs ; il devait être desservi par des chevaux, et, moyennant un droit de péage, tout le monde pouvait être admis à en profiter.

Au commencement de l'année 1829, le chemin de fer se trouvait sur le point d'être terminé ; les directeurs songèrent donc à fixer le genre de moteur qui serait adopté pour son service. Déjà, une année auparavant, la compagnie avait envoyé dans les comtés de Northumberland et de Durham, une commission chargée d'examiner les divers systèmes de chemin de fer qui s'y trouvaient établis pour l'exploitation des mines ; mais la commission était revenue sans pouvoir désigner le moteur le plus avantageux. La seule opinion qu'elle avait émise, c'est que l'activité du mouvement commercial entre Manchester et Liverpool devait rendre l'emploi des chevaux complétement impraticable. Il ne restait donc plus qu'à choisir entre les locomotives et les machines fixes employées comme remorqueurs. Deux ingénieurs, MM. Walker, de Limehouse, et Rastrick, de Stourbridge, furent chargés de visiter les chemins de fer de l'Angleterre où l'on faisait usage de locomotives, et ceux qui avaient adopté les machines fixes. Ils eurent pour mission de déterminer exactement la quantité de travail fournie par chacun de ces deux genres de moteurs. Comme résultat de leur examen, MM. Walker et Rastrick exposèrent que les avantages et les inconvénients des deux systèmes paraissaient se balancer, mais qu'en somme, et sous le rapport des dépenses d'exploitation, les machines fixes semblaient préférables.

Les directeurs du chemin de Liverpool ne se trouvèrent pas suffisamment renseignés par ce rapport. Stephenson, l'ingé-

nieur de la compagnie, déclarait les locomotives à la fois plus économiques et plus commodes pour le service, et l'on inclinait vers cette opinion. L'un des directeurs, M. Harrison, eut alors la pensée de faire décider cette grave question par un concours public, dans lequel tous les constructeurs anglais seraient appelés à produire diverses machines applicables au transport sur une voie ferrée. Un prix de 500 livres sterling (12,500 fr.) et la fourniture du matériel pour le chemin, devaient être accordés au constructeur qui présenterait la machine réalisant le mieux les vues de la compagnie. L'opinion de M. Harrison finit par prévaloir dans l'assemblée des directeurs, et le 20 avril 1829, les conditions du concours furent rendues publiques.

Voici les principales de ces conditions : La machine, montée sur six roues, ne pourrait peser plus de six tonnes. Elle devrait traîner, sur un plan horizontal, avec une vitesse de 16 kilomètres à l'heure, un poids de vingt tonnes, en comprenant dans ce poids l'approvisionnement d'eau et de combustible. — Si la machine ne pesait que cinq tonnes, le poids à remorquer serait réduit à quinze tonnes. — Le poids des locomotives portant sur quatre roues pourrait être réduit à quatre tonnes et demie. — Enfin, le prix de la machine agréée ne pourrait excéder 550 livres sterling (13,750 fr.).

Le jour de l'ouverture de ce curieux concours fut fixé au 6 octobre 1829. On choisit pour juges MM. Rastrick, de Stourbridge, Kennedy, de Manchester, et Nicholas Wood, de Killingworth.

Les constructeurs anglais se mirent aussitôt en devoir de prendre part à ce concours, et six mois après, au jour fixé, cinq machines locomotives, destinées à entrer en lice, étaient réunies à Liverpool. C'étaient : la *Fusée*, présentée par Robert Stephenson, de Manchester ; on avait adopté dans sa construction les chaudières tubulaires de M. Seguin. — La *Nouveauté*,

de MM. Braithwaite et Erickson. La chaudière de cette locomotive était formée d'un bouilleur unique; le constructeur avait cru pouvoir remédier à l'insuffisance de la surface de chauffe par divers moyens mécaniques destinés à provoquer artificiellement le tirage. — Venait ensuite la *Sans-pareille*, sortant des ateliers de M. Timothy Hackworth. — La *Persévérance*, de M. Burstall, et la *Cyclopède*, machine mue par des chevaux et proposée par M. Brandreth, terminaient la liste des machines destinées à prendre part à cette lutte intéressante. On choisit pour servir aux expériences le plateau de Rainhill, qui présente une ligne parfaitement horizontale sur une longueur de deux milles (3,218 mètres).

Comme le texte des conditions du concours ne contenait aucune indication sur le genre d'épreuves auxquelles les machines seraient soumises, on arrêta les dispositions suivantes : Au début de l'expérience, on constatera, pour chacune des locomotives, le poids total de la machine avec sa chaudière pleine d'eau ; la charge à traîner sera triple de son poids. — L'eau de la chaudière sera froide, et il n'y aura pas de combustible dans le foyer; on délivrera à chaque concurrent la quantité d'eau et de houille qu'il jugera nécessaire pour un voyage. — La machine sera traînée à bras jusqu'au point de départ; elle partira dès que la vapeur aura acquis une tension de cinquante livres par pouce carré. — La locomotive devra faire dix fois l'aller et le retour de l'espace choisi, ce qui représente à peu près le trajet de Liverpool à Manchester. Pour constater le temps de chaque voyage, on établira à chaque extrémité deux stations, occupées chacune par l'un des juges, qui constatera avec soin le moment du passage de la machine. Telles furent les conditions qui furent communiquées aux concurrents et acceptées par eux.

Pendant les premiers jours on se borna à essayer les locomotives ; on les fit aller et venir sur les rails pour les disposer à

fonctionner. Le 6 octobre 1829, jour fixé pour le commencement des épreuves, la *Fusée*, de Robert Stephenson, entra la première dans l'arène. Suivant le programme, elle était montée sur quatre roues et pesait quatre tonnes cinq quintaux (4,316 kilogr.). Sa chaudière, de 1m,73 de longueur, était traversée par vingt-cinq tubes de 7 centimètres de diamètre; la vapeur sortant des cylindres était dirigée, pour activer le tirage, dans l'intérieur de la cheminée. Cette belle locomotive présentait la plupart des dispositions que l'on trouve réalisées dans les machines actuelles.

Sans entrer dans le détail des différentes épreuves auxquelles fut soumise la locomotive de Stephenson, nous dirons que, sur un plan horizontal, elle remorqua, avec une vitesse de près de six lieues à l'heure, un poids de douze tonnes quinze quintaux (12,942 kilogrammes). Pour connaître son maximum de vélocité, on la débarrassa de toute charge, ainsi que de l'approvisionnement d'eau et de combustible; dans ces conditions elle parcourut un trajet de deux lieues et un tiers en quatorze minutes quatorze secondes, ce qui représente une vitesse de dix lieues à l'heure. Dans une autre série d'épreuves, on attacha la *Fusée* à une voiture contenant trente-six voyageurs; elle communiqua plusieurs fois à cette voiture une vitesse de dix lieues par heure sur un plan horizontal. En remontant sur un plan incliné, sa vitesse, dans les mêmes conditions, était de quatre lieues à l'heure. Cette dernière expérience démontra ce fait important, que les locomotives pourraient s'élever le long de certaines pentes; on avait supposé jusque-là qu'elles ne pourraient remorquer les convois que sur des terrains parfaitement de niveau.

La seconde machine essayée fut la *Sans-pareille*. Cette locomotive était portée sur quatre roues, et son poids s'élevait à quatre tonnes quinze quintaux et demi (4,850 kilogrammes). Or, d'après une condition imposée aux concurrents, toute ma-

chine atteignant ce poids devait être montée sur six roues, la *Sans-pareille* se trouvait donc exclue du concours. On se détermina néanmoins à la soumettre aux épreuves, afin de reconnaître si les résultats obtenus seraient de nature à être pris en considération; mais ils se montrèrent, sous tous les rapports, inférieurs à ceux de la *Fusée*.

La locomotive présentée par MM. Braithwaite et Erickson, la *Nouveauté*, n'avait pu être terminée à temps pour être essayée sur des rails. On reconnut, à son arrivée à Liverpool, et quand on l'eut placée pour la première fois sur le chemin de fer, que la disposition de ses roues exigeait quelques modifications. Cette circonstance retarda de quelques jours le moment des expériences. La *Nouveauté* différait de la machine de Robert Stephenson en ce qu'elle n'avait point de tender, et qu'elle portait elle-même sa provision d'eau et de combustible. La machine de MM. Braithwaite et Erickson, se trouvant définitivement prête à servir aux expériences, fut amenée au point de départ. La vapeur ayant acquis la tension nécessaire, elle partit aussitôt pour fournir sa course. Mais après son premier trajet, on reconnut que le tuyau d'alimentation de la chaudière s'était crevé. Quand on eut remédié à cet accident, il était trop tard pour continuer les expériences. La machine fut essayée de nouveau les jours suivants. En remorquant un convoi considérable, représentant le triple de son propre poids, elle fit d'abord douze milles à l'heure, et en continuant à marcher, vingt et un milles (sept lieues). On substitua ensuite aux chariots chargés de poids une voiture contenant quarante-cinq voyageurs; la *Nouveauté* imprima à cette voiture une vitesse de sept lieues à l'heure, terme moyen. Enfin, pour connaître son maximum de vitesse, on la laissa partir sans autre fardeau que l'eau et le charbon qu'elle devait employer. En allant et revenant sur l'espace qu'elle avait à parcourir à diverses reprises, elle présenta une vitesse moyenne de neuf lieues à l'heure; elle marcha même quelque-

fois avec une rapidité de treize lieues à l'heure. Cependant, à la suite des expériences qui furent exécutées le 14 octobre, on s'aperçut que sa chaudière présentait des fuites et livrait passage à l'eau. Les essais se trouvèrent ainsi interrompus. MM. Braithwaite et Erickson déclarèrent alors se retirer du concours.

La *Persévérance* avait éprouvé quelques accidents pendant son transport à Liverpool ; elle ne satisfaisait pas d'ailleurs aux termes imposés par le programme, M. Burstall la retira. Quant à la *Cyclopède*, c'était une machine mue par des chevaux, et qui sortait par conséquent des conditions assignées.

En définitive, le prix fut décerné à la *Fusée* de Robert Stephenson, qui avait satisfait à toutes les conditions exigées par la compagnie. Elle avait dû la supériorité de sa vitesse à l'emploi des chaudières tubulaires de M. Seguin, et avait, de cette manière, servi à mettre dans tout son jour l'importance de la découverte de l'ingénieur français. Tel fut le résultat de cette lutte mémorable, qui vivra d'un long souvenir dans l'histoire de l'industrie.

La locomotive de Stephenson, qui permettait de réaliser sur les routes de fer une vitesse de douze lieues à l'heure, changea complétement la face de l'entreprise du chemin de Liverpool à Manchester. Au lieu de se borner au transport des marchandises, la compagnie ouvrit aussitôt aux voyageurs cette nouvelle et merveilleuse voie de communication. Le service public, commencé en 1830, donna immédiatement des résultats inespérés. A peine la circulation fut-elle établie sur la voie ferrée que, des trente voitures publiques qui desservaient chaque jour les deux villes, une seule put continuer son service. La faculté désormais offerte de dévorer les distances amena une révolution complète dans les conditions et les habitudes des voyages. On eut alors la démonstration la plus décisive de ce fait, que la facilité des moyens de transport augmente la circulation dans une proportion extraordinaire. Le nombre des voyageurs, qui, avant

l'ouverture du chemin de fer, ne dépassait pas 500 par jour, s'éleva immédiatement à 1500. Le transport des marchandises ne subit pas la même progression, parce que les propriétaires des canaux, aiguillonnés par la concurrence, s'empressèrent d'abaisser leurs prix jusqu'au niveau des tarifs du chemin de fer, et accrurent en même temps la vitesse des transports. Le canal avait en outre l'avantage de communiquer des docks de Liverpool avec Manchester, en baignant les murs mêmes des magasins des fabricants, ce qui économisait les frais de transbordement. Cependant, malgré l'inégalité de ces conditions, le chemin de fer ne tarda pas à transporter un millier de tonnes de marchandises par jour. Aussi, deux ans après son ouverture, il apportait un dividende de 10 pour 100, et les actions jouissaient d'une prime de 120 pour 100. L'ère financière des chemins de fer était inaugurée en Europe avec un éclat qui malheureusement ne devait pas être durable.

Le double et remarquable succès qu'obtint le chemin de Liverpool, sous le rapport technique et financier, provoqua rapidement, en Angleterre, l'établissement de nouveaux railways. L'immense réseau qui relie à la métropole les divers centres de population commença à s'organiser en 1832, et pendant la période de 1832 à 1836, la construction des voies nouvelles reçut une impulsion et un développement considérables. On vit terminer dans cet intervalle 180 lieues de chemins de fer, et en commencer 160 lieues. En même temps, la science pratique des chemins de fer, qui avait trouvé dans la ligne de Liverpool un modèle admirable, alla se perfectionnant chaque jour. Profitant des améliorations successives introduites dans cet art nouveau, les grandes nations de l'Europe et du nouveau monde entrèrent hardiment dans la même voie, et les chemins de fer acquirent bientôt aux États-Unis, en Allemagne, en Belgique et en France ce développement extraordinaire qui fait la force et l'orgueil de ces pays.

Il ne peut entrer dans le plan de cette notice de faire connaître les diverses phases qu'a pu suivre, dans chacune des contrées de l'Europe et du nouveau monde, l'établissement des chemins de fer, ni d'exposer la situation dans laquelle les diverses nations se trouvent aujourd'hui sous ce rapport. Un tel sujet nécessiterait des considérations qui ne pourraient que difficilement trouver ici leur place; d'ailleurs, ces sortes de données statistiques sont trop exposées à être démenties par le temps; un jour suffit pour les entacher d'erreur. L'origine et les progrès de la locomotion par la vapeur, les développements successifs des chemins à rails, les circonstances qui ont amené la création des chemins de fer actuels et motivé le développement prodigieux qu'ils offrent à notre admiration, ces éléments nous paraissent suffire au but de cet ouvrage.

CHAPITRE IV.

Description de la machine locomotive.

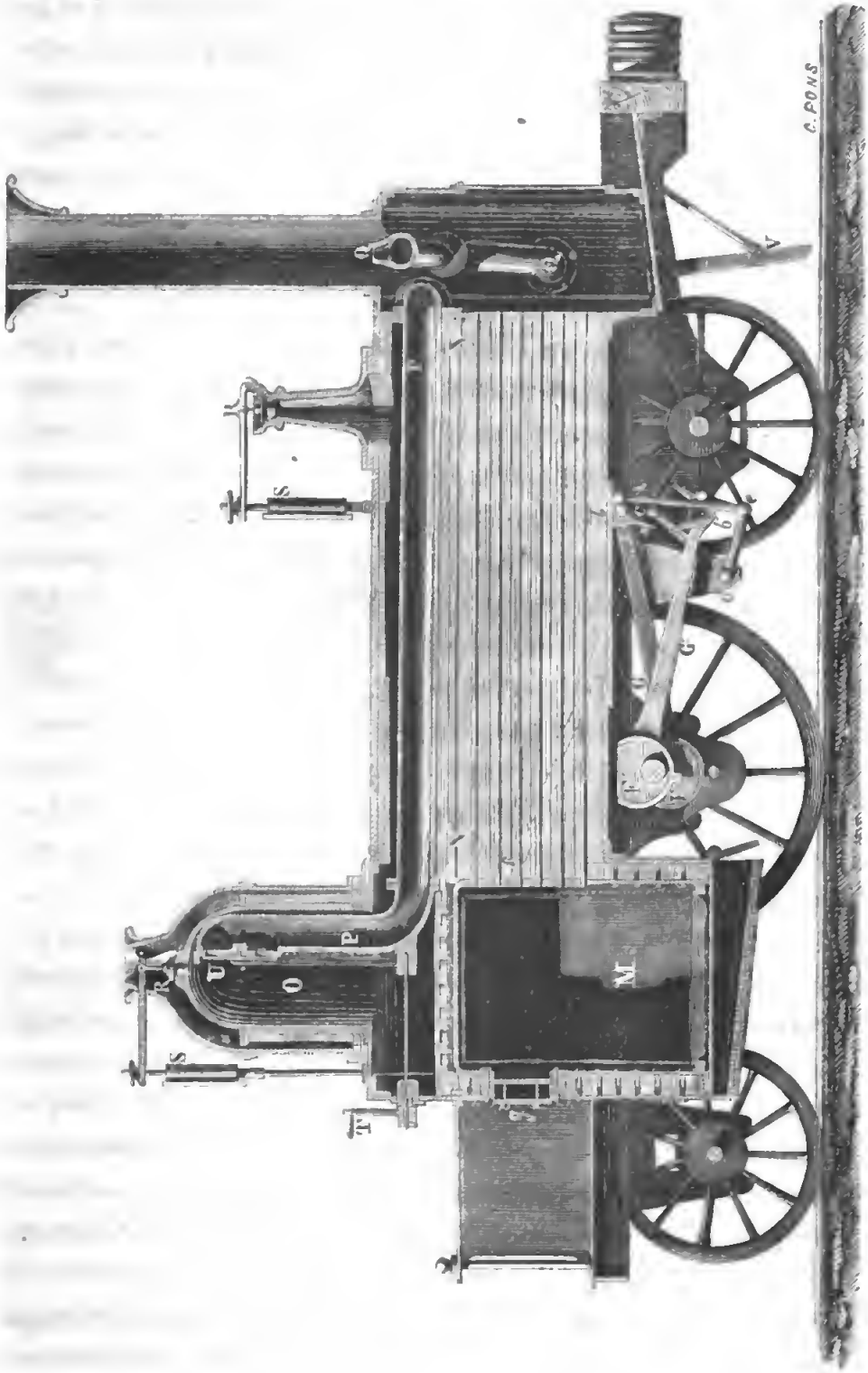
On vient de suivre les différentes phases que la construction des locomotives a parcourues jusqu'à notre époque; on a vu ses perfectionnements principaux depuis le premier modèle de Trevithick et Vivian, jusqu'aux machines construites en 1830, par Robert Stephenson, pour le chemin de fer de Liverpool. Il nous reste à donner la description de la locomotive actuelle, et à expliquer le mécanisme à l'aide duquel la force élastique de la vapeur s'y trouve utilisée.

Par son aspect extérieur, une locomotive ressemble assez peu à une machine à vapeur. Il faut quelque science pour démêler les éléments d'une machine de ce genre dans ce véhicule

élégant où l'action d'une force étrangère ne se trahit que par quelques bouffées de vapeur lancées en l'air par intervalles. Cependant les connaissances que nos lecteurs ont acquises dans les notices précédentes doivent leur suffire pour reconnaître, à la première vue, qu'une locomotive renferme les parties essentielles d'une machine à vapeur. Réduite à ses éléments les plus simples, une machine à vapeur se compose de trois parties : le foyer, la chaudière et l'appareil mécanique destiné à la transmission de la force. Or ces trois éléments sont faciles à discerner à la simple inspection d'une locomotive. Le foyer s'aperçoit à sa partie antérieure. La chaudière, placée à sa partie moyenne, forme ce cylindre allongé, revêtu d'une enveloppe de bois, et qui semble constituer la majeure partie de la locomotive. Enfin l'appareil moteur, formé de deux cylindres à vapeur visibles au dehors, est installé au-dessous du tuyau de la cheminée, en avant des roues.

L'examen des divers éléments qui viennent d'être énumérés va nous permettre d'expliquer le mécanisme de la locomotive et la destination de ses principaux organes. Nous décrirons d'abord la chaudière et le foyer, nous passerons ensuite à l'appareil moteur qui imprime aux roues le mouvement de progression.

Chaudière et foyer de la locomotive. — La figure que nos lecteurs ont sous les yeux représente une coupe verticale faite à l'intérieur de la chaudière et du foyer d'une locomotive. L'espace indiqué par la lettre M est désigné sous le nom de *boîte à feu*, l'espace Q est la *boîte à fumée*. La boîte à feu est divisée en deux parties inégales par une grille horizontale destinée à supporter le combustible, que le chauffeur y introduit par la porte *g*. Au-dessous de la grille est le cendrier qui donne accès à l'air et reçoit les cendres du foyer. Les barreaux de cette grille sont tous mobiles et susceptibles d'être rapidement enlevés, ce qui permet au mécanicien d'éteindre en quelques


C. PONS

instants le feu ; il lui suffit de retirer les barreaux pour faire aussitôt tomber sur la voie le coke incandescent.

On voit, en examinant la coupe de la chaudière et du foyer, que ce dernier est entouré de toutes parts par l'eau de la chaudière, à l'exception de la partie qui correspond à la petite porte *g* ; l'eau enveloppant de cette manière presque toute la capacité de la boîte à feu, tout l'effet du combustible se trouve utilisé.

Suivons maintenant la route que doivent prendre, pour se dégager au dehors, l'air chaud et la fumée qui s'échappent du foyer. Cette particularité est des plus importantes à saisir, elle suffit presque à elle seule pour donner l'intelligence de la machine locomotive. Les produits de la combustion ne passent point directement du foyer où ils ont pris naissance, dans la boîte à fumée, pour s'échapper dans l'air ; ils doivent traverser, avant de se dégager au dehors, toute une longue série de tubes de cuivre d'un petit diamètre, qui s'ouvrent d'une part dans le foyer, et d'autre part dans la boîte à fumée. Ces tubes, dont on n'a représenté qu'un petit nombre sur la figure précédente, sont au nombre de cent à cent vingt ; ils sont disposés horizontalement à travers la chaudière ; l'eau qui remplit celle-ci n'occupant de cette manière que l'espace qui les sépare. En traversant ces tubes, l'air chaud et la fumée échauffent l'eau qui se trouve logée entre leurs intervalles, et provoquent, dans un temps très court, la formation d'une quantité prodigieuse de vapeur. Cette disposition de la chaudière, dont l'invention est due, comme nous l'avons dit, à M. Seguin aîné, permet de donner à la surface chauffée une étendue de 50 mètres carrés ; elle rend compte de la quantité extraordinaire de vapeur, et par conséquent de la force mécanique que développe la chaudière des locomotives dans l'espace étroit qui lui est réservé.

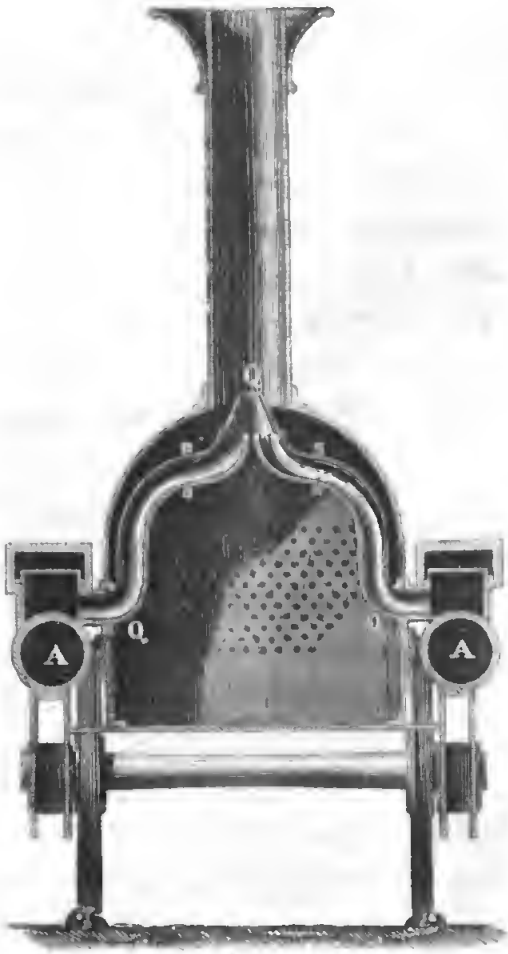
Que devient maintenant la vapeur engendrée dans la chaudière ? Elle se réunit dans l'espace libre que la figure précé-

dente nous montre au-dessus du niveau de l'eau. L'espèce de dôme indiqué par la lettre O porte le nom de *réservoir de vapeur*. C'est de là que part le tuyau destiné à introduire la vapeur dans les deux cylindres. Dans toutes les machines à vapeur, la prise de vapeur se fait toujours à une certaine distance au-dessus du niveau de l'eau, afin d'empêcher des particules d'eau liquide, entraînées par le mouvement de l'ébullition, de passer dans l'intérieur des cylindres, dont elles altéreraient le jeu. Aussi la prise de vapeur se trouve-t-elle ici à la partie supérieure du dôme métallique qui surmonte la chaudière. Partie de ce point, la vapeur passe dans un large tube P, U, qui la conduit dans l'intérieur des cylindres. Ce tuyau traverse la chaudière dans toute son étendue; arrivé à son extrémité, il se divise en deux pour conduire à droite et à gauche la vapeur dans chacun des cylindres.

Remarquons, avant de quitter cette figure, une pièce métallique OU, mise en mouvement par la manivelle T, placée sous la main du mécanicien; elle sert à ouvrir ou à fermer à volonté l'entrée OU du tuyau P. Quand cet orifice est ouvert, la vapeur passe dans le tube P et vient presser les pistons; quand il est fermé, la vapeur n'a plus d'accès dans les cylindres, et privée ainsi de toute action motrice, la locomotive ne tarde pas à s'arrêter. Cette pièce OU, qui permet de mettre la machine en train ou de suspendre sa marche, porte le nom de *régulateur*.

La locomotive est une machine à vapeur à haute pression. Dans les machines de ce genre, lorsque la vapeur a produit son effet mécanique, on la rejette dans l'air. On aurait pu dans les locomotives lâcher directement au dehors la vapeur sortant des cylindres, comme on le fait dans les machines de nos usines à haute pression et sans condenseur. Mais on a dit plus haut que Robert Stephenson eut l'idée d'appliquer le courant de vapeur qui s'échappe des cylindres à activer le tirage du foyer, en le dirigeant dans la cheminée. Grâce à cet artifice, on peut

brûler cinq fois plus de combustible, et par conséquent produire cinq fois plus de force que l'on n'en produirait en laissant simplement la vapeur se perdre dans l'atmosphère. La disposition pratique adoptée pour mettre en œuvre cet important moyen est indiquée dans la figure ci-jointe, qui représente une coupe transversale de la boîte à fumée.



En sortant des deux cylindres, que l'on a représentés sur cette figure par les lettres A, la vapeur suit deux tubes recourbés Q, qui vont en se rétrécissant, pour se réunir en un sommet commun, au bas de la cheminée. La vapeur traverse, avec une vitesse énorme, le tuyau de la cheminée, elle se condense dans cet espace d'une température inférieure à la sienne, et cette condensation produit un vide que vient aussitôt remplir l'air arrivant du foyer par les petits tubes. La succession rapide de ces deux phénomènes détermine une aspiration d'air très vigoureuse, et provoque un tirage extraordinairement actif.

La cheminée des locomotives sert donc tout à la fois à donner issue aux produits de la combustion provenant du foyer et à la vapeur sortant des cylindres. Ainsi s'expliquent ces faits, dont on se rend difficilement compte d'ordinaire, que la cheminée

d'une locomotive laisse échapper tantôt de la fumée, tantôt de la vapeur, et que la quantité de force développée par la machine est d'autant plus considérable qu'elle laisse perdre plus de vapeur par la cheminée.

Comme toutes les chaudières de machines à vapeur, la chaudière d'une locomotive doit nécessairement être pourvue d'appareils de sûreté destinés à empêcher la vapeur de dépasser les limites normales assignées à sa pression, et en même temps à donner une issue à cette vapeur dès que ce terme se trouve atteint. La chaudière d'une locomotive est, en effet, toujours munie de deux soupapes de sûreté que l'on place à chacune de ses extrémités. Ces deux soupapes se trouvent représentées sur la figure de la page 325 par les lettres R, S. Elles ne sont autre chose, on le voit, que la soupape de Papin. Seulement, comme les mouvements brusques de la machine auraient rendu difficile l'usage de poids pour régler la pression, on les remplace par un ressort en spirale contenu dans une enveloppe métallique, S; ce ressort, tendu au moyen d'un écrou adapté à la tige qui supporte le levier, et placé au-dessous de ce levier, sert à exercer sur la plaque qui ferme la chaudière une traction que l'on gradue à volonté à l'aide de cet écrou. Une aiguille adaptée à l'extrémité du ressort indique les différentes tensions de la vapeur exprimées en atmosphères.

Pour que le mécanicien puisse connaître à chaque instant le degré de pression de la vapeur, la chaudière des locomotives est munie d'un *manomètre* qui accuse continuellement l'état de cette pression. Nous n'avons pas besoin de dire que le *manomètre à air libre* ne saurait être employé sur une locomotive, en raison de sa longueur et de sa fragilité. On se sert du *manomètre à air comprimé*, qui n'occupe qu'un petit espace. Cet instrument indique les variations de pression de la vapeur par suite de la hauteur qu'occupe une colonne de mercure dans un tube à deux branches, fermé à l'une de ses extrémités, rempli d'air

à son extrémité fermée et communiquant avec la vapeur par son extrémité ouverte. D'après une loi physique bien connue, l'air comprimé par une vapeur ou par un gaz occupe un volume qui est toujours en raison inverse de la pression qu'il supporte. Ainsi la hauteur à laquelle s'élève la colonne de mercure dans la branche fermée du tube, fait connaître exactement la force élastique de la vapeur, exprimée en atmosphères, si l'on a gradué d'après ce principe l'échelle qui accompagne le tube.

Tels sont les principaux éléments qui composent la chaudière des locomotives. Ajoutons que tout l'ensemble de la chaudière et du foyer est fixé solidement sur un châssis de bois au moyen d'arcs-boutants de fer boulonnés d'un côté contre la chaudière, et de l'autre sur le châssis. Ce dernier porte sur les trois essieux des six roues de la locomotive, par l'intermédiaire d'un coussinet, d'une tringle et d'excellents ressorts. Tout ce système, construit avec beaucoup de soins et de délicatesse, adoucit les chocs et les ébranlements que l'appareil pourrait éprouver par suite de la marche de la locomotive sur les rails.

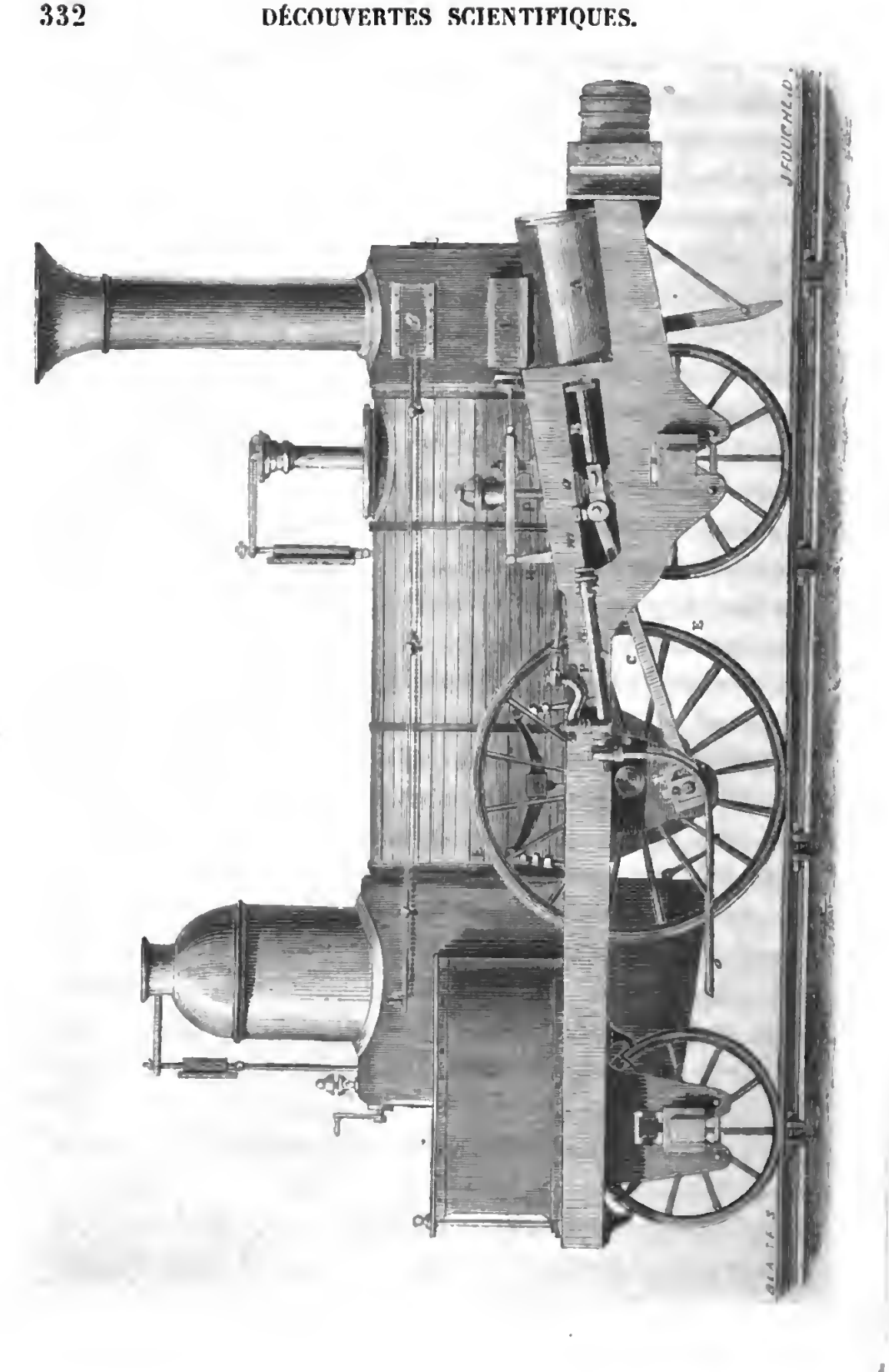
Appareil moteur. — Le mécanisme au moyen duquel on transmet aux roues l'action de la vapeur se trouve clairement indiqué dans la figure de la page 332, qui représente l'élévation d'une locomotive à six roues semblable à celles qui desservent le chemin de fer de Paris à Rouen.

Les cylindres à vapeur, au nombre de deux, sont placés chacun sur un des côtés de la locomotive et à sa partie antérieure. L'un de ces cylindres est représenté sur la figure par la lettre A ; la pièce prismatique L qui le surmonte est le tiroir destiné à donner accès à la vapeur, et à la diriger tantôt au-dessus, tantôt au-dessous du piston ; ce tiroir est mis en action par un excentrique que porte l'essieu de la roue motrice ; un levier coudé HK, qui se déplace horizontalement, ouvre successivement, à l'intérieur du tiroir, deux orifices qui donnent accès à la vapeur sous les deux faces du piston. La tige B du

piston se meut dans une rainure à l'aide de deux glissières *a* fixées à son extrémité. Cette tige est articulée à une longue bielle, ou tige C, qui vient agir sur un bouton D fixé à la roue E de la locomotive, à une certaine distance de son axe. La roue motrice de la locomotive fait ainsi elle-même fonction de volant. L'action de la vapeur s'exerce donc uniquement sur les deux grandes roues ; les autres sont entraînées par le mouvement des roues motrices et ne servent qu'à l'équilibre et à la progression de la machine. Les deux bielles, C, partant de chaque cylindre, sont disposées à angle droit l'une sur l'autre, de manière que leur mouvement soit croisé, et que l'une d'elles se trouvant au point le plus avantageux de sa course, l'autre se trouve au point le plus faible, c'est-à-dire au point mort, ainsi qu'on l'a expliqué pour les bateaux à vapeur.

Le mouvement imprimé à la tige du piston est mis à profit pour faire agir une pompe alimentaire qui va puiser de l'eau dans un réservoir porté par le tender. Cette pompe refoule de l'eau dans la chaudière, afin d'y remplacer à chaque instant celle qui disparaît constamment sous forme de vapeurs. Toute la disposition mécanique de la pompe alimentaire est facile à reconnaître sur la figure. *m* représente la tige de cette petite pompe ; elle est fixée à l'extrémité de la tige B du piston, et en reçoit son mouvement de va-et-vient. Cette tige *m* fait agir un petit piston placé dans l'intérieur du corps de pompe *n*, qui aspire, à l'aide du tuyau *o*, l'eau du tender. Refoulée dans le tuyau courbe P, cette eau s'introduit dans la chaudière, pour y remplacer celle qui s'échappe sans cesse dans l'atmosphère à l'état de vapeur.

Le tuyau *o*, dont on n'a représenté qu'une partie dans la figure, vient aboutir au tender, auquel il se trouve lié par un genou ou tuyau flexible. Le tender n'est autre chose, en effet, qu'un wagon d'approvisionnement ; il porte l'eau et le coke nécessaires à l'alimentation de la machine pendant un certain



Digitized by Google

temps. Monté, comme la locomotive, sur un châssis et sur des ressorts, il se compose d'un réservoir de tôle rempli d'eau qui laisse libre un espace au milieu duquel on entasse le combustible. Il porte habituellement 3,200 litres d'eau et 400 kilogrammes de coke, qui suffisent pour un voyage de dix à douze lieues ; au bout de ce temps, si la locomotive doit continuer sa route, on renouvelle la double provision du tender.

Un niveau d'eau formé d'un tube de verre disposé verticalement et communiquant avec l'intérieur de la chaudière, se trouve sous les yeux du mécanicien, qui peut ainsi s'assurer à chaque instant de la quantité d'eau contenue dans le générateur. Lorsque ce niveau vient à baisser, le mécanicien ouvre un robinet placé sur le trajet du tube *o* ; l'eau du tender est aussitôt aspirée par les pompes ; si la quantité du liquide introduit est suffisante, il ferme le même robinet, et arrête ainsi l'entrée de l'eau dans la chaudière.

Nous venons d'examiner les différentes pièces qui composent la machine locomotive. Indiquons maintenant, afin d'en résumer l'ensemble, les opérations successives qu'il faut exécuter pour la gouverner et pour la faire agir.

Lorsque le mécanicien veut mettre la locomotive en marche, il commence par s'assurer, en examinant le manomètre, si la vapeur atteint le degré suffisant de pression. La tension de la vapeur étant reconnue convenable, il pousse la manivelle du régulateur, qui donne aussitôt accès à la vapeur dans l'intérieur du tuyau destiné à l'introduire dans les tiroirs. La vapeur passe de là dans les cylindres, et vient exercer sa pression alternative sur les deux faces du piston. Celui-ci entraîne la bielle qui fait tourner les roues motrices de la locomotive, et la fait avancer sur les rails en remorquant le tender et la série de wagons ou de voitures qui lui font suite, et qui sont solidement attachés les uns aux autres par un crochet et une chaîne de fer. Mais pendant que la machine fonctionne, le combustible se consume sur

la grille, l'eau de la chaudière disparaît en partie, par suite de la dépense continuelle de vapeur. Le chauffeur jette donc de nouveau combustible dans le foyer, et le mécanicien remplace l'eau évaporée en ouvrant le robinet du tuyau *o*, qui, grâce à l'action des pompes foulantes, introduit dans la chaudière une partie de l'eau contenue dans le réservoir du tender. Si le tirage présente trop d'activité, ou si l'on veut ralentir la marche, le mécanicien, tirant une longue tige horizontale *cd* (page 332) qui s'étend sur l'un des côtés et vers la partie supérieure de la locomotive, déplace une plaque mobile *d*, laquelle, offrant une issue aux produits de la combustion, ralentit le tirage de la cheminée, et modère ainsi la puissance de la vapeur. Arrivé à une station, le mécanicien fait entendre un coup de sifflet, en dirigeant un jet de vapeur, empruntée à la chaudière, contre la tranche aiguë d'un timbre métallique qui se trouve placé au-devant de lui; il ferme ensuite le régulateur à l'aide de la manivelle, toute communication se trouve ainsi interrompue entre la chaudière et le cylindre; le jeu des pistons s'arrête aussitôt, et le convoi ne marche plus qu'en vertu de sa vitesse acquise. Ne pouvant s'échapper au dehors, la vapeur, qui se forme toujours, par suite de l'action du foyer, continue à exercer sa pression à l'intérieur; elle ne tarde pas à atteindre ainsi le degré de tension au terme duquel doivent s'ouvrir les soupapes de sûreté; ces soupapes cèdent en effet à la pression qu'elles éprouvent, et laissent la vapeur se dégager au dehors. En même temps, les conducteurs serrent les freins; la résistance devenant ainsi plus grande et la force motrice ne s'exerçant plus, la machine se trouve arrêtée.

Quand le mécanicien, arrivé au terme du voyage, veut éteindre le foyer, il se débarrasse de tout le combustible en démontant les barreaux de la grille mobile; le coke incandescent tombe aussitôt sur la voie.

Il est nécessaire, pour les différentes manœuvres qui s'exé-

cutent dans l'intérieur des gares ou même sur la voie, de faire marcher la locomotive en arrière. Ce mouvement se produit à l'aide d'un long levier qui se trouve à la portée du mécanicien, et qui lui permet de *renverser la vapeur*, c'est-à-dire de modifier sa distribution dans les cylindres de manière à déterminer tantôt la marche en avant, tantôt la marche en arrière. Ce levier fait entrer en action un nouveau tiroir qui donne une distribution de vapeur précisément contraire à celle qui était en œuvre pendant la marche. La vapeur, qui avait commencé à agir par exemple sur la face antérieure du piston, se trouve dès lors dirigée vers sa face postérieure ; un mouvement opposé à celui qui existait est la conséquence de ce renversement de la vapeur, et ce mouvement, une fois commencé, se continue de manière à entretenir la marche de la machine dans la direction nouvelle qu'elle vient de recevoir.

Nous ne pousserons pas plus loin ces détails descriptifs. Ils suffiront pour donner, d'une manière générale, l'intelligence du mécanisme moteur de la locomotive et des divers organes qui la composent.

CHAPITRE V.

Inconvénients attachés à l'emploi des locomotives. — Nouveaux systèmes de chemins de fer.

Le système de chemins de fer actuels n'a pas encore vingt-cinq ans d'existence. Si l'on considère la marche si rapide qui distingue les sciences à notre époque, il est donc permis de dire que cette invention est encore aujourd'hui sinon dans son enfance, au moins dans ses débuts. Les tentatives faites de nos jours pour améliorer les conditions de ce nouveau mode de

transport, méritent, à ce titre, l'attention la plus sérieuse. Arago, s'élevant contre la pensée d'exécuter à la fois, suivant les principes alors en usage, tous les réseaux des lignes françaises, disait à la tribune de la chambre des députés : « Les chemins de fer n'ont pas dit leur dernier mot. » En effet, les chemins de fer ont beaucoup parlé depuis cette époque; il nous reste à faire connaître les mots nouveaux qu'ils ont prononcés.

Dans les pages précédentes, on a fait la part des beaux résultats que réalise le système des chemins de fer actuellement en usage en Europe; essayons maintenant de montrer les inconvénients qu'il peut entraîner.

Deux éléments sont à considérer dans le système actuel des chemins de fer : les rails et la locomotive, la voie ferrée et l'instrument de traction. De ces deux éléments, l'un paraît avoir atteint son terme de perfection le plus avancé, l'autre est susceptible de modifications importantes. L'emploi de bandes métalliques destinées à annuler les effets du frottement des roues représente à nos yeux le point le plus parfait de ce mode de locomotion. Ces humbles barres de fer couchées sur la poudre des chemins, constituent le plus avantageux et le plus utile des deux éléments de ce système. Quant à la machine destinée à traîner les convois sur ces voies artificielles, elle est susceptible de plusieurs reproches aussi graves que fondés.

On peut classer sous deux titres les inconvénients qui découlent de l'emploi des locomotives : défaut de sécurité, — cherté excessive dans le tracé du chemin et le service journalier de la voie.

Quelle que soit l'efficacité des moyens de surveillance établis sur les chemins de fer, quelle que soit la perfection actuellement apportée à la construction des locomotives, l'emploi de ces machines expose à diverses chances d'accidents que l'on ne peut prévenir que dans de certaines limites. Quand on voit,

sur un viaduc élevé, une série de wagons remplis de voyageurs, voler avec la rapidité d'une flèche sur des rails polis comme la glace, on ne peut se défendre d'un sentiment de terreur en songeant aux catastrophes que peut provoquer le plus faible obstacle rencontré sur la voie. Des événements terribles ont assez démontré que tous les moyens mis en usage ne suffisent pas toujours pour écarter ces dangers. L'expérience a tristement établi qu'il n'est point de surveillance assez parfaite pour empêcher, dans tous les cas, la rencontre et le choc de deux convois marchant en sens opposé; l'attention des employés d'une ligne peut être distraite ou relâchée un moment, jusqu'à laisser s'engloutir dans le Rhône un convoi de marchandises, et quelques jours après un convoi de voyageurs dérailler à quelques pas du même abîme. Il est d'autres catastrophes qu'il n'appartient à aucune puissance humaine de prévoir, et, par conséquent, d'empêcher. On ne le sait que trop, des centaines de voyageurs peuvent se précipiter, par suite d'un déraillement, dans les marais de Fampoux. Rien ne peut prévenir encore la rupture de l'essieu d'une locomotive, accident dont l'événement affreux du chemin de fer de Versailles offrit un exemple à jamais déplorable.

Le défaut de sécurité inhérent à l'emploi des locomotives frappe suffisamment l'esprit; mais les inconvénients, très graves encore, résultant des dépenses qu'exigent l'établissement et l'entretien de la voie, attirent moins l'attention; aussi insisterons-nous davantage sur ce dernier fait.

Les dépenses considérables que nécessite l'établissement des chemins de fer, et qui ont compromis en tant de pays la fortune publique, reconnaissent deux causes : 1° le tracé du chemin, 2° son exploitation.

D'après les principes mécaniques sur lesquels reposent la construction des locomotives et leur progression sur les rails, il est impossible de franchir des pentes d'une certaine incli-

naison. Les locomotives ordinaires ne peuvent faire remonter aux convois des pentes de plus de 10 millimètres par mètre; pour surmonter une rampe plus forte, on est obligé d'employer une locomotive de renfort. Au delà de 30 millimètres, une locomotive ordinaire placée à la tête d'un convoi, reculerait au lieu d'avancer. Aussi la rampe habituellement admise sur les chemins de fer est-elle seulement de 7 millimètres. En second lieu, le mode de construction adopté pour les locomotives et les wagons impose la nécessité de donner au tracé de la voie une direction constamment en ligne droite. La parallélisme et la fixité des essieux, dans les wagons et la locomotive, commandent un tracé entièrement rectiligne, et ce n'est que par une dérogation aux principes de la progression et de l'équilibre de ces véhicules, que certaines courbes sont adoptées. Ces courbes sont d'ailleurs d'un rayon tellement étendu qu'elles présentent, sur le rapport pratique, autant d'inconvénients que d'avantages.

C'est cette double obligation de maintenir la ligne des rails sur un niveau toujours sensiblement horizontal, et d'adopter une direction rectiligne, qui entraîne tant de dépenses dans l'exécution de nos routes ferrées. C'est pour cela que l'ingénieur chargé d'exécuter le tracé d'un chemin de fer est contraint d'aller droit devant lui, élevant par des remblais les niveaux des terrains trop abaissés, franchissant les vallées sur de longs viaducs, se frayant un passage à travers les montagnes, bouleversant le sol autour de lui, s'écartant des points qu'il aimerait à traverser, traversant ceux qu'il voudrait éviter, changeant les cités en désert et les déserts en lieux habités. Cette inflexibilité aveugle imposée à la direction de nos lignes est la cause principale des dépenses excessives qu'entraîne leur exécution; c'est aussi le point profondément vicieux, nous dirions presque le côté barbare des chemins de fer actuels. Ces montagnes percées à jour, ces vallées comblées, ces longs via-

dues joignant le sommet des collines, ces fleuves franchis sur un point forcé, ces étangs ou ces marais traversés sur des digues élevées à grands frais, ces longs trajets souterrains, ces sombres tunnels parcourant des lieues entières, et où le voyageur, enfoui dans les entrailles de la terre, privé du spectacle de la nature et du ciel, semble voir comme une image anticipée de son dernier séjour, tout cela rappelle singulièrement les débuts grossiers de l'art humain; et lorsque les générations futures viendront un jour contempler les débris et les vestiges abandonnés de ces travaux immenses, il est à croire qu'elles concevront quelque dédain de ces merveilles dont nous nous montrons si fiers.

L'emploi des locomotives introduit dans l'exécution des chemins de fer une autre source de dépenses importantes. L'énorme poids de la locomotive et de son tender oblige de faire usage de rails très lourds et d'établir des fondations d'une grande solidité. C'est pour résister au poids d'une machine pesant à elle seule 12,000 kilogrammes, que l'on est contraint d'employer ces larges rails qui entrent pour une si grande part dans les frais d'établissement du chemin. Ce poids excessif de la locomotive offre un second inconvénient, c'est qu'il fait perdre la plus grande partie de la puissance développée par la vapeur. Dans un convoi ordinaire, près de la moitié de la force motrice est employée à traîner la locomotive et son tender. Cette perte, déjà si considérable, s'accroît encore quand le convoi remonte une pente, et, dans ce cas, la moitié de la puissance de la vapeur est uniquement employée à traîner la machine, et se trouve ainsi dépensée sans utilité pour le service.

L'exploitation quotidienne des chemins de fer entraîne une dernière part de dépenses très onéreuses; nous voulons parler des frais de traction et de combustible. Sur le railway de Liverpool à Manchester, la dépense annuelle pour la locomotive et le charbon se trouve portée, d'après un compte rendu de

l'administration, à environ 1,500,000 francs pour un transport de 121,872 kilogrammes par jour. Sur celui du Great-Western, la dépense du coke représente à elle seule 25,250 francs par semaine (1).

Frappés de l'évidence et de la gravité de ces faits, animés du désir de perfectionner une invention qui rend à la société de si éminents services, un grand nombre d'ingénieurs et de savants se sont appliqués, depuis plusieurs années, à la recherche de moyens nouveaux susceptibles de réaliser avec plus de sécurité et d'économie les transports sur nos routes ferrées. De ces travaux est sortie une série de systèmes destinés, dans la pensée de leurs auteurs, à remplacer les moyens de locomotion actuellement en usage. Les différents procédés qui ont été proposés pour atteindre ce but peuvent se grouper comme il suit :

1° Le *système atmosphérique.* Dans ce nouveau système, on supprime la locomotive, et l'on opère la traction à l'aide de machines aspirantes qui font le vide dans un tube de fonte disposé entre les rails au milieu de la voie. Ce nouveau moyen existe aujourd'hui en cours d'exploitation régulière en Irlande, entre Kingstown et Dalkey, et en France, sur une partie du chemin de fer de Paris à Saint-Germain.

2° Le *système électro-magnétique*, expérimenté en Allemagne en 1838 et 1842, par M. Stœrer, de Francfort, et en 1844 par M. Wagner. On se propose ici de substituer à l'action de la vapeur la puissance motrice qui se développe pendant l'attraction des aimants artificiels. Malheureusement l'insuffisance de la force qui prend naissance pendant les phénomènes

(1) La considération des dépenses qui se lient à l'emploi des locomotives offre assez de gravité pour avoir autorisé quelques ingénieurs à conclure que les locomotives ne sont d'un usage avantageux que sur les lignes d'une grande étendue. Sur les chemins de fer d'un petit parcours il y aurait, selon eux, économie à se servir de chevaux.

électro-magnétiques, a empêché jusqu'à ce jour d'appliquer économiquement à l'industrie les résultats avantageux que promet l'usage de cette puissance motrice. Les essais de ce nouveau mode de propulsion pour nos chemins de fer n'ont pu être par conséquent poursuivis encore avec succès.

3° Le *système hydraulique*, imaginé et essayé sur le chemin de fer de Dublin à Cork, par un ingénieur anglais, M. Shuttleworth, et sur lequel un très habile ingénieur français, M. Girard, vient de ramener l'attention. Dans ce système, on se propose de déterminer la progression des convois par une chute d'eau tombant d'une grande hauteur, et qui vient exercer une pression sur toute l'étendue d'une colonne d'eau contenue dans un tube, disposé lui-même entre les rails sur tout le parcours de la voie.

4° Le *système Jouffroy*, qui ne présente pas une création nouvelle dans son ensemble, et ne se compose que d'une série de modifications plus ou moins utiles apportées aux divers moyens mis en usage sur les chemins de fer actuels; il est dû au fils du marquis de Jouffroy, dont les travaux sur la navigation par la vapeur ont été exposés dans ce volume.

5° Enfin, le *système éolique*, dont l'idée appartient à M. Andraud. Dans ce nouveau système, on supprime la locomotive et l'on imprime le mouvement aux voitures par l'effet de la compression et du refoulement de l'air dans un tuyau flexible couché au milieu de la voie. Un tube de cuir, rendu imperméable par plusieurs enveloppes de caoutchouc, est disposé tout le long de la voie entre les deux rails. Une voiture placée sur les rails repose sur ce tube, à l'aide d'une large roue de bois dont elle est munie. Quand on vient, en ouvrant un robinet, à introduire de l'air comprimé dans le tube, celui-ci, subitement gonflé, pousse en avant la voiture en faisant office de coin, et la lance sur les rails. Le réservoir d'air comprimé, qui consiste en un canal enfoui sous le sol, est établi sur le bord de la voie; des

machines à vapeur, disposées en nombre convenable sur l'étendue de la ligne, servent à condenser l'air dans ce réservoir (1). Dans le système de M. Andraud, on supprime la locomotive ; on se met par conséquent à l'abri des inconvénients qu'entraîne le poids considérable de cet appareil moteur, et des dépenses qu'absorbe son entretien. On peut tourner sans difficulté les courbes du plus petit rayon ; les pentes ordinaires sont franchies sans obstacle, et si les rampes sont trop considérables, rien de plus simple que d'accroître la puissance motrice : il suffit d'augmenter les dimensions du tube propulseur. Cette faculté de tourner dans les courbes et de remonter certaines pentes, simplifierait dans une proportion extraordinaire le tracé des chemins ; ces énormes remblais, ces nivellements de terrain, ces viaducs, ces tunnels, qui sont une source de dépenses incalculables dans le tracé des chemins de fer ordinaires, disparaîtraient à la fois : la terre, telle à peu près que Dieu l'a faite, suffirait aux modestes nécessités de ce système. Les procédés de M. Andraud pourraient difficilement s'appliquer à des lignes étendues ; mais tout indique qu'ils donneraient des résultats avantageux pour des chemins d'un petit parcours, ou pour les les embranchements des grandes lignes. Les avantages que son établissement présenterait dans de semblables conditions nous paraissent dignes d'attirer l'attention des hommes pratiques sur ce simple et ingénieux procédé de locomotion.

Tel est à peu près l'ensemble des principaux moyens que l'on

(1) En raison de la faible intensité de la force motrice qui réside dans l'air comprimé, le système éolique ne pourrait servir à traîner de lourds convois composés d'une série de vagons : une seule voiture pourrait chaque fois être mise en marche. Cette disposition ne peut que rarement constituer un désavantage, et il y aurait au contraire une utilité marquée à établir sur les chemins de fer, au lieu de convois composés d'une douzaine de voitures partant trois ou quatre fois par jour, un transport régulier formé d'une seule voiture partant chaque cinq ou six minutes.

a proposés depuis une dizaine d'années pour remplacer l'usage des locomotives. Il nous serait impossible d'entrer ici dans l'examen détaillé de chacun de ces systèmes. La plupart d'entre eux sont encore à l'étude, et n'ont reçu que d'une manière très incomplète la sanction de l'expérience. Or, on ne peut juger avec certitude la valeur d'une invention de ce genre, que lorsque définitivement transportée dans la pratique, elle a permis d'apprécier, par le résultat d'une application quotidienne, ses avantages ou ses défauts. De tous les systèmes qui viennent d'être énumérés, un seul a été soumis à cet infaillible et sévère *criterium :* c'est le système atmosphérique qui fonctionne depuis six ans sur une partie du chemin de fer de Paris à Saint-Germain. Ce système est donc le seul que nous pourrons examiner ici avec quelque attention.

CHAPITRE VI.

Chemin de fer atmosphérique. — Origine de sa découverte. — Emploi du vide pour le transport des lettres. — Système de M. Medhurst. — M. Vallance. — Travaux de MM. Clegg et Samuda. — Établissement du chemin de fer atmosphérique de Kingstown en Irlande. — Chemin de fer atmosphérique de Paris à Saint-Germain.

Nous n'apprendrons rien à nos lecteurs en disant que la première idée de la locomotion atmosphérique appartient à Denis Papin. La machine à *double pompe pneumatique*, proposée par l'illustre physicien en 1687, renferme évidemment l'idée, déjà réalisée en partie, de l'emploi de la pression atmosphérique comme agent moteur. Cent vingt ans après, en 1810, un ingénieur danois, M. Medhurst, fit revivre cette idée presque oubliée. Dans une brochure intitulée : *Nouvelle méthode pour transporter des effets et des lettres par l'air*, suivie en 1812

d'un nouvel opuscule : *Quelques calculs et remarques tendant à prouver la possibilité de la nouvelle méthode*, etc., M. Medhurst proposa d'utiliser la pression de l'air pour le transport des lettres et des marchandises. Il parlait de construire une sorte de canal muni d'une paire de rails de fer, sur lesquels on placerait un petit chariot portant les lettres et les paquets. Une machine pneumatique installée à l'extrémité de ce canal devait faire le vide dans cet espace ; un piston jouant librement à l'intérieur et dans toute l'étendue de ce tube, pressé par le poids de l'atmosphère extérieure, aurait ainsi été entraîné dans l'intérieur du canal en poussant le chariot devant lui. Mais l'ingénieur danois ne put réussir à attirer sur ses idées l'attention du public ; ses brochures restèrent chez le libraire, et ses modèles n'eurent pas un visiteur.

Bien que le système de M. Medhurst n'eût rien que de raisonnable, il était demeuré inaperçu. Plusieurs années après, un autre inventeur en fit un projet extravagant, et le public anglais, fidèle à ses habitudes, ne laissa pas de s'y intéresser. En 1824, le gouvernement accorda à un M. Vallance un brevet pour la belle invention que voici. Ce que M. Medhurst avait imaginé pour les lettres et les paquets, M. Vallance l'appliquait sans autre détour aux voyageurs. Il proposait de construire un très large tube de fer susceptible de tenir le vide, et occupant toute l'étendue de la distance à franchir : dans ce tube il plaçait des rails, sur ces rails des wagons, et dans ces wagons des voyageurs. On fermait à ses deux extrémités ce récipient de nouvelle espèce, une machine pneumatique en épuisait l'air, et la pression de l'atmosphère poussait à grande vitesse le train des voyageurs dans ce ténébreux séjour. M. Vallance exécuta sur la route de Brighton les essais de cette agréable invention. Il fit construire en bois de sapin un tunnel provisoire, qui n'avait pas moins de 2 mètres de diamètre, et dans lequel il faisait circuler ses voitures. Les habitants de Brighton accouraient en

foule sur les bords de la route pour être témoins des essais de l'excentrique inventeur. Cependant personne ne consentit jamais à servir de sujet à une expérience complète : pour cette fois l'horreur du vide était parfaitement à sa place.

Le premier inventeur, M. Medhurst, qui voyait ses idées tomber dans l'absurde, les reprit pour les laver du ridicule. Il s'occupa de perfectionner son premier projet, et il y réussit pleinement, car c'est à lui qu'appartient la découverte du système actuel des chemins de fer atmosphériques. M. Medhurst publia en 1827 une courte brochure intitulée : *Nouveau système de transport et de véhicule par terre pour les bagages et les voyageurs.* L'ingénieur danois proposait deux procédés : le premier reproduisait son ancien projet d'un canal fermé de toutes parts, mais il ne l'appliquait qu'aux bagages ; le second était consacré au transport des voyageurs. Ce nouveau système, qui n'est autre que celui que nous voyons aujourd'hui mis en pratique, présentait les dispositions suivantes : Un tube de fer était couché entre les deux rails, au milieu et dans toute l'étendue de la voie d'un chemin de fer ordinaire ; un piston parcourait toute la capacité intérieure de ce tube, et se trouvait rattaché par une tige aux wagons chargés de voyageurs. Pour livrer passage à cette tige de communication dans tout le trajet du tube, sans donner accès à l'air extérieur, M. Medhurst proposait de placer à la partie supérieure du tube, et sur toute son étendue, une rainure occupée par une couche d'eau, qui devait livrer passage à la tige de communication pour se fermer derrière le convoi. Ce genre de soupape était inapplicable, puisqu'il exigeait une horizontalité parfaite du sol ; cependant le principe était trouvé, et les conditions du problème nettement posées, il ne restait qu'à les remplir.

Plusieurs ingénieurs s'occupèrent aussitôt de créer un nouveau système de soupape qui pût répondre à cet important et difficile objet, de donner passage à la tige de communication,

et de refermer aussitôt le tube de manière à y maintenir le vide. Un grand nombre d'essais furent tentés dans cette direction. La soupape formée d'un assemblage de cordes, proposée en 1834 par l'ingénieur américain Pinkus, ne remplit qu'imparfaitement ces conditions. Enfin, en 1838, MM. Clegg et Samuda, constructeurs à Wormwood-Scrubs, près de Londres, trouvèrent une solution tellement satisfaisante du problème, qu'elle permit de transporter aussitôt dans la pratique le nouveau procédé de locomotion de l'ingénieur danois.

La soupape de MM. Clegg et Samuda se composait d'une lanière de cuir disposée à la partie supérieure et sur tout le trajet du tube propulseur; elle servait à boucher l'ouverture longitudinale ménagée sur toute son étendue. Fixée au tube par l'un de ses bords, elle faisait ainsi fonction de charnière; elle était soulevée par la tige qui servait à lier le piston aux wagons; après le passage de cette tige, elle se refermait par suite de son poids, augmenté de celui de deux lames de tôle flexibles fixées sur chacune de ses faces. Pour rendre l'occlusion plus parfaite, le bord libre de la lanière de cuir reposait sur une entaille creusée dans la rainure, et cette entaille était remplie elle-même d'un mastic résineux. Après le passage de la tige de communication, une roue de bois adaptée au wagon directeur, comprimait fortement la lanière de cuir contre sa rainure et la replaçait dans la position qu'elle occupait auparavant; la faible chaleur développée par cette compression avait pour effet de rendre le mastic plus fluide et de faciliter ainsi l'adhérence qu'il provoquait entre la bande de cuir et le métal. Dans l'origine, on avait même ajouté au rouleau compresseur un fourneau en grillage rempli de charbons incandescents, qui fluidifiaient le mastic sur leur passage; mais cet engin assez ridicule fut bientôt supprimé.

Cet ingénieux système de soupape fut essayé pour la première fois en France en 1838. MM. Clegg et Samuda en firent exécuter les essais à Chaillot et au Havre, sur un petit chemin

de fer d'épreuve. L'invention, alors dans son enfance, fit peu de bruit et n'éveilla guère que des critiques. On ne croyait pas à la possibilité de maintenir le vide dans un tube de plusieurs kilomètres, incessamment ouvert et refermé par une tige qui le parcourait avec une vitesse excessive ; les hommes pratiques avaient de la peine à considérer d'un œil sérieux cet immense conduit, ce mastic fondu et ce réchaud voyageur. Mais les inventeurs ne perdirent pas courage, et après avoir avantageusement modifié la confection de leurs appareils, ils établirent aux portes de leurs ateliers, à Wormwood-Scrubs, non plus un modèle de petite dimension, mais un véritable chemin de fer de la longueur de près d'un kilomètre, offrant une pente sensible dans une partie de son parcours ; une pompe pneumatique, mise en action par une machine à vapeur de la force de seize chevaux, opérait le vide dans le tube. Les wagons étaient entraînés avec une vitesse de dix à douze lieues par heure.

Le public, qui fut admis à prendre place dans les voitures, accueillit avec faveur les essais de ce curieux système. Cependant quelques hommes de l'art, véritables dictateurs de l'opinion publique en Angleterre, se montrèrent plus difficiles, et déclarèrent d'un commun accord que l'invention ne pouvait être prise au sérieux. MM. Clegg et Samuda réclamèrent vainement contre la sévérité de cet arrêt ; ils ne purent réussir à trouver à Londres le plus faible appui. Mais l'Irlande, encore à peu près dénuée de chemins de fer, avait intérêt à accueillir les découvertes nouvelles : elle offrit aux inventeurs un théâtre favorable pour expérimentation de leurs idées. En 1840, M. Pim, trésorier de la compagnie du chemin de fer de Dublin à Kingstown, sur la foi des expériences dont il avait été témoin dans les ateliers de M. Clegg, proposa aux actionnaires de sa compagnie d'établir, à titre d'essai, le système atmosphérique à l'une des extrémités du chemin de Dublin, entre Kingstown et Dalkey. Pour encourager cet essai, le gouver-

nement anglais accorda aux inventeurs un prêt gratuit de 625,000 francs, destiné à faire face aux premiers frais de l'entreprise.

Le chemin de fer de Kingstown à Dalkey fut terminé le 19 août 1843. On se mit aussitôt en devoir de procéder au premier voyage d'essai. Un convoi composé de trois voitures chargées de plus de cent personnes fut placé à la tête de la ligne, et le vide ayant été opéré par les machines, il fut abandonné à lui-même. On lira peut-être avec intérêt le récit donné par le *Morning-Advertiser* de cette première expérience qui eut en Angleterre un grand retentissement.

« Trois voitures, dit ce journal, furent placées à la station de Kingstown. A la première étaient attachés le piston qui se meut dans le tube et une mécanique pour modérer la vitesse du train et s'arrêter à Dalkey; une mécanique de cette sorte fut aussi attachée à la deuxième voiture, qui contenait un grand nombre d'ouvriers; la troisième était réservée aux directeurs et à leurs amis; en tout, plus de cent personnes. Tout ce monde était curieux de savoir le résultat du premier voyage.

» Tout étant prêt, vers six heures du soir, la machine à vapeur de Dalkey mit en mouvement la pompe pneumatique. Elle marcha si bien, qu'en une demi-minute le vide fut obtenu dans le tube. Les signaux nécessaires furent faits ; le train partit, et quatre minutes après, il avait atteint Dalkey. On ne peut se faire une idée de la facilité avec laquelle marche la machine, même au milieu des courbes les plus roides que l'on trouve sur cette ligne. Le train glisse sur les rails presque sans qu'on s'en aperçoive ; point de fumée, point de bruit comme dans les chemins de fer à vapeur. Les mécaniques pour modérer le mouvement sont suffisantes ; on a arrêté à Dalkey avec la plus grande facilité. Le succès complet de cette expérience prouve que désormais la pression de l'air atmosphérique peut être appliquée aux chemins de fer. »

Les expériences subséquentes ayant confirmé ces premiers faits, le chemin de fer atmosphérique commença son service public de Kingstown à Dalkey.

Les résultats obtenus en Irlande frappèrent beaucoup l'attention. L'Angleterre et la France s'en émurent particulièrement. Deux années après, une compagnie anglaise décidait l'établissement d'un railway atmosphérique de Londres à Croydon. Ce chemin de fer, dont l'exécution rencontra beaucoup de difficultés, offre une particularité intéressante. Entre Norwood et Croydon, il traverse, sur un viaduc gigantesque, les deux chemins de fer ordinaires de Brighton et de Douvres.

C'est sous l'influence de ces faits que, pendant l'année 1844, le ministre des travaux publics en France, désireux de s'éclairer sur la valeur positive de ces nouveaux procédés, et de reconnaître leur influence sur l'avenir de nos chemins de fer, envoya en Irlande un inspecteur des ponts et chaussées, M. Mallet, avec mission d'y étudier les appareils de MM. Clegg et Samuda. M. Mallet fit connaître, dans divers rapports, toutes les conditions du chemin de fer atmosphérique de Kingstown. Il entra dans des développements étendus sur les frais de son établissement, et compara, sous ce double rapport, les deux systèmes rivaux. Cet ingénieur, à qui l'on a reproché d'avoir vu d'un œil trop indulgent le système irlandais, s'attacha à combattre les objections qu'il soulevait, et finalement demanda que l'on en fît parmi nous un essai sur une étendue suffisante.

Adoptant les vues de M. Mallet, le gouvernement décida que le système atmosphérique serait soumis à l'épreuve définitive de l'exécution pratique. Un projet de loi fut donc présenté aux chambres, demandant pour cet objet une allocation de 1,800,000 francs. La loi fut votée le 5 août 1844 ; une ordonnance du 2 novembre de la même année arrêta que l'expérience aurait lieu entre Nanterre et le plateau de Saint-Germain. A cette époque, le chemin de fer de Paris à Saint-Germain s'arrêtait à la commune du Pecq, au pied de la colline. On vit avec raison, dans le choix de cet emplacement, un moyen décisif de juger le nouveau système dans les conditions où il peut offrir le

plus d'avantages, c'est-à-dire lorsqu'il s'agit de faire remonter aux convois des pentes d'une inclinaison considérable. La ville de Saint-Germain y trouvait d'ailleurs l'avantage de faire arriver jusqu'à elle les convois qui s'arrêtaient forcément au bas du plateau; elle ajouta donc une somme de 200,000 francs aux 1,800,000 francs alloués par l'État.

Le chemin de fer atmosphérique, qui devait être établi de Nanterre au plateau de Saint-Germain, sur une longueur de plus de deux lieues, n'a été en réalité exécuté que dans l'intervalle de deux kilomètres et demi qui sépare Saint-Germain du pont de Montesson, dans le bois du Vésinet. Il fut terminé en 1847. Tout le monde connaît les travaux d'art si remarquables que nos ingénieurs ont exécutés pour franchir la différence de 50 mètres de niveau qui existe entre l'embarcadère et le pont de Montesson. Vus de la terrasse de Saint-Germain, ils présentent un aspect plein de hardiesse et d'élégance. Ces travaux consistent en un pont de dix arches jeté sur la Seine, dans le point où l'île Corbière la divise en deux bras. Les arches de ce pont ont chacune une portée de 32 mètres. Vient ensuite un magnifique viaduc de vingt arches, de l'aspect le plus gracieux et le plus hardi, dont l'exécution présenta de grands obstacles, en raison de la nature du terrain sur lequel reposent ses fondations. A peu de distance de ce viaduc, le chemin atmosphérique s'engage dans un souterrain qui passe sous la terrasse de Saint-Germain; on entre ensuite dans une longue tranchée pratiquée dans la forêt; on pénètre de là dans un petit souterrain qui s'étend sous le parterre de la terrasse, et l'on arrive enfin à l'entrée de la gare, que quelques marches seulement séparent des salles d'attente situées de plain-pied avec la place du Château, dans l'intérieur de la ville.

Le chemin de fer atmosphérique établi du bois du Vésinet au plateau de Saint-Germain sert depuis six ans au transport des voyageurs; il fait suite au chemin de fer ordinaire partant de

Paris. Jusqu'au pont de Montesson, le trajet s'accomplit sur l'ancien chemin de fer; le reste du trajet, jusqu'à Saint-Germain, se fait sur le chemin atmosphérique. Ce changement de système s'effectue très rapidement, et pour ainsi dire sans que les voyageurs aient le temps de s'en apercevoir. Arrivé à la station de Montesson, le train s'arrête, la locomotive passe derrière lui et le pousse, au moyen d'un croisement de rails, sur la voie atmosphérique. On accroche la première voiture du convoi au wagon directeur du chemin atmosphérique; aussitôt, sur un signal donné par le télégraphe électrique, les machines pneumatiques installées à Saint-Germain se mettent à fonctionner. L'air du tube est aspiré en quelques instants, et le convoi se met en marche. Le trajet s'accomplit en trois minutes. Le retour de Saint-Germain au pont de Montesson s'effectue par le seul poids du convoi roulant sur la pente descendante. Le conducteur n'a d'autre manœuvre à effectuer que de serrer les freins pour s'opposer à une trop grande accélération de vitesse. Arrivé à la station de Montesson, le convoi repasse sur la voie du chemin de fer ordinaire, et une locomotive tenue prête le ramène à Paris.

Il nous reste à donner quelques détails sur le mécanisme des appareils moteurs du chemin atmosphérique de Saint-Germain.

Le tube propulseur couché entre les rails, et qui se trouve maintenu par de simples chevilles sur les traverses de bois qui supportent ces derniers, est coulé en fonte et résulte de l'assemblage de plusieurs cylindres semblables. Il présente sur son trajet de larges cercles assez rapprochés formant saillie, qui ont pour objet de le renforcer et d'augmenter sa résistance. Son diamètre intérieur est de 63 centimètres. Il est formé de 850 portions et pèse 490 kilogrammes le mètre courant. Quant à la soupape, elle est en tout semblable à celle de MM. Clegg et Samuda. Elle est formée d'une longue bande de cuir fortifiée par des lames de tôle mince et flexible; un mastic formé d'huile de phoque, de

cire, de caoutchouc et d'argile, maintient son adhérence avec le tube. Le piston est muni, à sa partie antérieure, d'une sorte de long couteau disposé angulairement; à mesure qu'il s'avance dans le tube, ce couteau soulève la soupape, de manière à laisser passer la tige de communication des wagons; après le passage du convoi, la soupape retombe par l'effet de sa pesanteur, et le rouleau compresseur vient, en pesant sur elle, la replacer dans sa situation primitive. Quand la soupape est soulevée par le couteau, elle laisse forcément rentrer un peu d'air extérieur dans le tube; mais comme les machines pneumatiques continuent de fonctionner pendant la marche du convoi, cette petite quantité d'air est expulsée à mesure qu'elle s'introduit, et le vide est ainsi toujours à peu près maintenu.

Les machines pneumatiques installées à Saint-Germain, et destinées à faire le vide dans le tube propulseur, sont la partie la plus curieuse et la plus remarquable du matériel atmosphérique. Elles sont établies sur des proportions gigantesques et avec une perfection dont l'industrie française se montre fière à bon droit. Des machines à vapeur les mettent en action. Les chaudières destinées à produire la vapeur, les cylindres qui mettent en jeu sa puissance mécanique, et les pompes manœuvrées par les pistons de ces cylindres pour faire le vide dans le tube, sont disposés dans un immense bâtiment construit en pierre de taille, vitré par le haut, supporté par une charpente de fer, et soutenu en son milieu par une colonne creuse par laquelle s'écoulent les eaux pluviales; un escalier placé au centre du bâtiment conduit à l'étage où sont disposés les cylindres des machines à vapeur; les chaudières, au nombre de six, sont placées au-dessous. Les cylindres des machines à vapeur sont couchés horizontalement comme des pièces de canon. Le mouvement de leurs pistons se communique aux cylindres pneumatiques par une bielle qui agit sur une roue dentée de dimensions extraordinaires, puisque son diamètre n'est pas moins de 5 mè-

tres. C'est cette roue dentée qui fait mouvoir les pompes pneumatiques. Ces pompes, au nombre de deux, sont placées au bas de l'édifice et rangées de chaque côté de l'escalier. Elles peuvent extraire 4 mètres cubes d'air par seconde. Les machines à vapeur, de la force de deux cents chevaux chacune, sont à haute pression, à condenseur et à détente. Elles ne fonctionnent pas d'une manière continue, et n'entrent en action, pour faire le vide, qu'au moment où le convoi doit se mettre en marche. Rien n'est curieux à voir comme ces immenses machines, immobiles et silencieuses, qui tout d'un coup s'éveillent pour agiter leurs gigantesques leviers : trois minutes après, le convoi passe comme un éclair, puis tout retombe dans le silence.

On a dit plus haut que pour apprécier la valeur positive des nouveaux systèmes des chemins de fer, il faut invoquer les résultats de l'exécution pratique. Si cette vérité avait besoin d'une démonstration nouvelle, ce qui s'est passé au chemin atmosphérique de Saint-Germain en fournirait une preuve éclatante. Étudié au point de vue théorique et dans les conditions particulières où l'on avait pu l'observer, le système atmosphérique avait séduit beaucoup d'esprits et fait concevoir d'assez hautes espérances. Or il a été exécuté chez nous avec tous les soins désirables, avec le concours des plus habiles ingénieurs du pays, et la pratique a démenti tristement les prévisions de la théorie. Les résultats de la grande expérience qui depuis six ans est en cours d'exécution quotidienne sur la route de Saint-Germain, établissent que si le système atmosphérique est susceptible de donner de bons résultats sous le rapport mécanique, au point de vue financier il est désastreux. Les devis pour l'exécution de ce chemin, depuis Nanterre jusqu'à Saint-Germain, portaient la dépense totale au chiffre de 2 millions. Or, le chemin n'a été exécuté que sur une partie de cette distance, sur l'étendue de 2 kilomètres et demi qui sépare le pont de Montesson du plateau de Saint-Germain, et tout compte fait, l'ensemble

des dépenses a dépassé la somme de 6 millions. Ce chiffre rend toute discussion superflue. Le système atmosphérique, que l'on avait préconisé comme devant introduire une économie notable dans les frais d'établissement des chemins de fer, est infiniment plus coûteux que le système ordinaire.

Quelques personnes ont voulu expliquer un résultat si accablant pour le chemin de fer atmosphérique, par les difficultés qu'offrait le parcours de Nanterre à Saint-Germain, en raison de la hauteur extraordinaire de la rampe à franchir. On pourrait répondre que le système atmosphérique étant présenté surtout comme propre à triompher de l'inégalité des terrains, toute son utilité disparaît dès le moment où il ne peut servir avec avantage dans ces conditions particulières. Mais là n'est pas la seule réponse à adresser aux partisans de ce mode de transport. L'expérience décisive à laquelle le chemin atmosphérique a été soumis au milieu de nous, a mis en lumière plusieurs inconvénients inhérents à son emploi, et dont la gravité suffirait à elle seule pour en prescrire l'abandon. Nous les résumerons en quelques mots.

Avec le système atmosphérique, on ne peut, sans de très grandes difficultés, établir des embranchements. Il faudrait, pour changer de voie, installer à l'extrémité de la nouvelle ligne une machine pneumatique destinée à faire le vide dans le tuyau de ce nouveau parcours. En second lieu, la rencontre et les intersections des grandes routes y créent des obstacles presque insurmontables. En raison du gros tube couché entre les rails, les charrettes et les voitures ne peuvent traverser la voie comme elles traversent celle de nos chemins de fer ordinaires, en passant par-dessus les rails; il faut donc, à chaque croisement avec les grandes routes, élever un pont ou creuser un souterrain de manière à donner passage aux voitures au-dessus ou au-dessous de la voie.

Un autre vice du système atmosphérique, vice des plus

graves, bien qu'il frappe moins l'esprit au premier aperçu, c'est la nécessité où l'on se trouve de conserver sur toute l'étendue de la route la même intensité à la puissance motrice. En général, quand un chemin de fer rencontre une pente, la force à développer par la machine qui entraîne le convoi doit s'accroître pour surmonter cette résistance; quand le terrain reprend ensuite le niveau, la force de traction doit diminuer. Ces variations nécessaires dans l'intensité des forces agissantes, nos locomotives les produisent sans difficulté : il suffit, pour cela, d'augmenter ou de diminuer la puissance de la vapeur; mais le système atmosphérique ne peut réaliser ces alternatives utiles dans l'intensité de l'agent moteur. La force qu'il développe dépend, en effet, de l'étendue de la surface du piston qui se meut dans l'intérieur du tube sous le poids de la pression extérieure. Or, la surface du piston est toujours la même; la force motrice doit donc conserver la même intensité sur toute l'étendue du trajet, soit que le convoi trouve une résistance en s'élevant le long d'une rampe, soit que cette résistance diminue quand le chemin reprend le niveau. Pour augmenter ou diminuer l'intensité de l'action motrice, il faudrait pouvoir faire varier la surface du piston; mais cela est impossible; il faut donc se contenter d'une égale intensité de force sur toute l'étendue de la ligne.

Nous ajouterons, comme dernière difficulté s'opposant à l'application du système atmosphérique, les dépenses considérables qu'entraîne son exploitation quotidienne. L'immense appareil mécanique établi à Saint-Germain, ces gigantesques machines pneumatiques, ces six chaudières à vapeur, ne fonctionnent guère que trois minutes par heure. Pendant tout le reste du temps, leur service est inutile, et l'on est contraint d'arrêter, comme on le peut, le tirage de la cheminée, pour le rétablir une heure après au moment du travail (1). Au point de

(1) Pour parer autant que possible à cet inconvénient, on opère à

vue industriel, un tel état est déplorable à tous égards et suffirait au besoin pour motiver l'abandon de ce système.

En résumé, l'expérience de Saint-Germain a condamné le système atmosphérique. Les résultats obtenus en Angleterre sur le chemin de Croydon à Londres ont dû amener à une semblable conclusion, car on a fini par reprendre, sur ce chemin, l'usage des locomotives. Le chemin de Kingstown à Dalkey et celui de Saint-Germain sont les seuls de ce genre qui fonctionnent encore en Europe, et tout annonce que ce seront les derniers, au moins avec les dispositions adoptées aujourd'hui.

Ainsi de tous les moyens proposés de nos jours pour remplacer le système actuel des chemins de fer, un seul a été soumis à l'épreuve d'une expérience décisive, et il s'est montré, sur tous les points, inférieur à son rival. Faut-il généraliser ce résultat, et de l'insuccès du système atmosphérique, conclure que tous les nouveaux procédés de locomotion récemment imaginés, soumis à la même épreuve, éprouveraient le même sort ? La logique repousse cette conclusion absolue. Cependant le sentiment des hommes de l'art y incline manifestement; l'échec de Saint-Germain a déterminé un retour favorable vers le système actuel des chemins de fer, et a fait envisager ses imperfections d'un œil plus indulgent. En définitive, l'opinion des ingénieurs flotte en ce moment assez irrésolue. Gardons-nous d'ailleurs de porter un jugement sévère sur ces hésitations de la science. L'histoire nous apprend que chacune des grandes inventions de notre époque a dû traverser une période toute

Saint-Germain de la manière suivante : on laisse tomber le feu en fermant la clef de la cheminée; ensuite, au moment où le travail doit reprendre, on fait mouvoir un ventilateur qui active le tirage et rallume le feu. Ces précautions sont évidemment insuffisantes; la quantité de houille consumée chaque jour, comparée au travail produit, dénote une perte considérable de combustible.

semblable de tâtonnements et d'incertitudes. Espérons seulement qu'il nous sera bientôt donné de la franchir, et qu'une solution décisive du grand problème qui s'agite viendra porter à son plus haut degré de perfection cette invention admirable qui a déjà rendu au monde de si remarquables services.

Digitized by Google

Digitized by Google

NOTES.

Digitized by Google

Digitized by Google

NOTES.

NOTE I.

LETTRE DE PASCAL A SON BEAU-FRÈRE PÉRIER.

Monsieur,

Je n'interromprais pas le travail continuel où vos emplois vous engagent, pour vous entretenir de méditations physiques, si je ne savais qu'elles servent à vous délasser en vos heures de relâche, et qu'au lieu que d'autres en seraient embarrassés, vous en aurez du divertissement. J'en fais d'autant moins de difficulté, que je sais le plaisir que vous recevez en cette sorte d'entretien. Celui-ci ne sera qu'une continuation de ceux que nous avons eus ensemble touchant le vuide. Vous savez quels sentiments les philosophes ont eus sur ce sujet. Tous ont tenu pour maxime que la nature abhorre le vuide, et presque tous, passant plus avant, ont soutenu qu'elle ne peut l'admettre et qu'elle se détruirait elle-même plutôt que de le souffrir. Ainsi les opinions ont été divisées : les uns se sont contentés de dire qu'elle l'abhorrait seulement, les autres ont maintenu qu'elle ne pouvait le souffrir. J'ai travaillé, dans mon *Abrégé du Traité du vuide*, à détruire cette dernière opinion ; et je crois que les expériences que j'y ai rapportées suffisent pour faire voir manifestement que la nature peut souffrir et souffre en effet un espace si grand que l'on voudra, vuide de toutes les matières qui sont à notre connaissance, et qui tombent sous nos sens. Je travaille maintenant à examiner la vérité de la première, savoir que la nature abhorre le vuide, et à chercher des expériences qui fassent voir si les effets que l'on attribue à l'horreur du vuide doivent être véritablement attribués à cette horreur du vuide, ou s'ils doivent l'être à la pesanteur et pression de l'air ; car, pour vous ouvrir franchement ma pensée, j'ai peine à croire que la nature, qui n'est point animée ni sensible, soit

susceptible d'horreur, puisque les passions supposent une âme capable de les ressentir ; et j'incline bien plus à imputer tous ces effets à la pesanteur et pression de l'air, parce que je ne les considère que comme des cas particuliers d'une proposition universelle de l'équilibre des liqueurs, qui doit faire la plus grande partie du *Traité* que j'ai promis. Ce n'est pas que je n'eusse ces mêmes pensées lors de la production de mon *Abrégé*, et toutefois, faute d'expériences convaincantes, je n'osai pas alors (et je n'ose pas encore) me départir de la maxime de l'horreur du vuide, et je l'ai même employée pour maxime dans mon *Abrégé ;* n'ayant alors d'autre dessein que de combattre l'opinion de ceux qui soutiennent que le vuide est absolument impossible, et que la nature souffrirait plutôt sa destruction que le moindre espace vuide. En effet, je n'estime pas qu'il nous soit permis de nous départir légèrement des maximes que nous tenons de l'antiquité, si nous n'y sommes obligés par des preuves convaincantes et invincibles. Mais, dans ce cas, je tiens que ce serait une extrême faiblesse d'en faire le moindre scrupule, et qu'enfin nous devons avoir plus de vénération pour les vérités évidentes que d'obstiuation pour ces opinions reçues. Je ne saurais mieux vous témoigner la circonspection que j'apporte avant que de m'éloigner des anciennes maximes, que de vous remettre dans la mémoire l'expérience que je fis ces jours passés, en votre présence, avec deux tuyaux l'un dans l'autre, qui montre apparemment le vuide dans le vuide. Vous vîtes que le vif-argent du tuyau intérieur demeura suspendu à la hauteur où il se tient par l'expérience ordinaire, quand il était contrebalancé et pressé par la pesanteur de la masse entière de l'air ; et qu'au contraire il tomba entièrement sans qu'il lui restât aucune hauteur ni suspension, lorsque, par le moyen du vuide dont il fut environné, il ne fut plus du tout pressé ni contre-balancé d'aucun air, en ayant été destitué de tous côtés. Vous vîtes ensuite que cette hauteur de suspension du vif-argent augmentait ou diminuait à mesure que la pression de l'air augmentait ou diminuait, et qu'enfin toutes ces diverses hauteurs de suspension du vif-argent se trouvaient toujours proportionnées à la pression de l'air.

Certainement, après cette expérience, il y avait lieu de se persuader que ce n'est pas l'horreur du vide, comme nous estimons, qui cause la suspension du vif-argent dans l'expérience ordinaire, mais bien la pesanteur et pression de l'air qui contre-balance la

pesanteur du vif-argent. Mais parce que tous les effets de cette dernière expérience des deux tuyaux, qui s'expliquent si naturellement par la seule pression et pesanteur de l'air, peuvent encore être expliqués assez probablement par l'horreur du vuide, je me tiens dans cette ancienne maxime, résolu néanmoins de chercher l'éclaircissement entier de cette difficulté par une expérience décisive.

J'en ai imaginé une qui pourra seule suffire pour nous donner la lumière que nous cherchons si elle peut être exécutée avec justesse. C'est de faire l'expérience ordinaire du vuide plusieurs fois le même jour, dans un même tuyau, avec le même vif-argent, tantôt au bas et tantôt au sommet d'une montagne, élevée pour le moins de cinq ou six cents toises, pour éprouver si la hauteur du vif-argent suspendu dans le tuyau se trouvera pareille ou différente dans ces deux situations. Vous voyez déjà, sans doute, que cette expérience est décisive sur la question, et que s'il arrive que la hauteur du vif-argent soit moindre au haut qu'au bas de la montagne (comme j'ai beaucoup de raisons pour le croire, quoique tous ceux qui ont médité sur cette matière soient contraires à ce sentiment), il s'ensuivra nécessairement que la pesanteur et pression de l'air est la seule cause de cette suspension du vif-argent, et non pas l'horreur du vuide, puisqu'il est bien certain qu'il y a beaucoup plus d'air qui pèse sur le pied de la montagne que non pas sur le sommet; au lieu que l'on ne saurait dire que la nature abhorre le vuide au pied de la montagne plus que sur le sommet.

Mais comme la difficulté se trouve d'ordinaire jointe aux grandes choses, j'en vois beaucoup dans l'exécution de ce dessein, puisqu'il faut pour cela choisir une montagne excessivement haute, proche d'une ville, dans laquelle se trouve une personne capable d'apporter à cette épreuve toute l'exactitude nécessaire. Car si la montagne était éloignée, il serait difficile d'y porter des vaisseaux, le vif-argent, les tuyaux et beaucoup d'autres choses nécessaires, et d'entreprendre ce voyage pénible autant de fois qu'il le faudrait pour rencontrer, au haut de ces montagnes, le temps serein et commode qui ne s'y voit que peu souvent; et comme c'est aussi rare de trouver des personnes hors de Paris qui aient ces qualités, que des lieux qui aient ces conditions, j'ai beaucoup estimé mon bonheur d'avoir, en cette occasion, rencontré l'un et l'autre, puisque notre ville de Clermont est au pied de la haute montagne

du Puy-de-Dôme, et que j'espère de votre bonté que vous m'accorderez la grâce de vouloir y faire vous-même cette expérience; et, sur cette assurance, je l'ai fait espérer à tous nos curieux de Paris, et entre autres au R. P. Mersenne, qui s'est déjà engagé, par les lettres qu'il en a écrites en Italie, en Pologne, en Suède, en Hollande, etc., d'en faire part aux amis qu'il s'y est acquis par son mérite. Je ne touche pas aux moyens de l'exécution, parce que je sais bien que vous n'omettrez aucune des circonstances nécessaires pour le faire avec précaution.

Je vous prie seulement que ce soit le plus tôt qu'il vous sera possible, et d'excuser cette liberté où m'oblige l'impatience que j'ai d'en apprendre le succès, sans lequel je ne puis mettre la dernière main au *Traité* que j'ai promis au public, ni satisfaire au désir de tant de personnes qui l'attendent, et qui vous en seront infiniment obligées. Ce n'est pas que je veuille diminuer ma reconnaissance par le nombre de ceux qui la partageront avec moi, puisque je veux, au contraire, prendre part à celle qu'ils vous auront, et à demeurer d'autant plus, Monsieur, votre très humble et très obéissant serviteur.

PASCAL.

15 novembre 1647.

(*OEuvres de Blaise Pascal*, t IV, p. 346.)

NOTE II.

MÉMOIRE DE PAPIN SUR LA MACHINE ATMOSPHÉRIQUE.

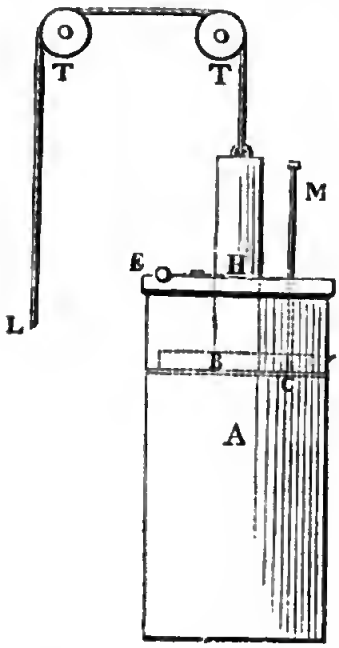
Nouvelle méthode pour obtenir à bas prix des forces motrices considérables, par Denis Papin.

Dans la machine destinée au nouvel usage que l'on voulait faire de la poudre à canon, et dont la description se trouve dans les *Actes des érudits*, du mois de septembre 1688, on désirait surtout que la poudre allumée dans la partie inférieure du tube rem-

plît de flamme sa capacité entière, pour que l'air en fût complétement chassé, et que le tube placé au-dessous du piston restât tout à fait vide d'air. On dit alors que le résultat n'avait pas été satisfaisant, et que, malgré toutes les précautions dont on a parlé, il était toujours resté dans le tube environ la cinquième partie de l'air qu'il peut contenir. De là deux inconvénients : 1° On n'obtient que la moitié de l'effet désiré, et l'on n'élève à la hauteur d'un pied qu'un poids de 150 livres au lieu de 300, qui auraient dû être élevées si le tube avait été parfaitement vide ; 2° à mesure que le piston descend, la force qui le presse du haut en bas diminue graduellement, comme on l'a observé au même endroit. Il est donc indispensable que nous tentions, par un moyen quelconque, de diminuer la résistance dans la même proportion que la force motrice diminue elle-même, pour que cette force motrice la surpasse jusqu'à la fin. C'est ainsi que dans les horloges portatives (les montres) on ménage avec art la force inégale du ressort qui meut tout le système, afin que pendant tout le temps il puisse vaincre, avec une égale facilité, la résistance des roues. Mais il serait bien plus commode encore d'avoir une force motrice toujours égale depuis le commencement jusqu'à la fin. On a donc fait dans ce but quelques essais pour obtenir un vide parfait à l'aide de la poudre à canon ; car par ce moyen, comme il n'y aurait plus d'air pour résister au piston, toute la colonne atmosphérique supérieure pousserait ce piston jusqu'au fond du tube avec une force uniforme. Mais jusqu'à ce moment toutes les tentatives ont été infructueuses, et après l'extinction de la poudre enflammée il est toujours resté dans le tube environ la cinquième partie de l'air. J'ai donc essayé de parvenir par une autre route au même résultat, et comme, par une propriété qui est naturelle à l'eau, une petite quantité de ce liquide, réduite en vapeur par l'action de la chaleur, acquiert une force élastique semblable à celle de l'air, et revient ensuite à l'état liquide par le refroidissement, sans conserver la moindre apparence de sa force élastique, j'ai été porté à croire que l'on pourrait construire des machines où l'eau, par le moyen d'une chaleur modérée, et sans frais considérables, produirait le vide parfait que l'on ne pouvait pas obtenir à l'aide de la poudre à canon. Parmi les différentes constructions que l'on peut imaginer à cet effet, voici celle qui m'a paru la plus commode.

A est un tube d'un diamètre partout égal, exactement fermé

dans sa partie inférieure ; B est un piston adapté à ce tube ; H un manche, ou tige, fixé au piston ; EH une verge de fer qui se meut horizontalement autour de son axe : un ressort presse la verge de fer EH, de manière à la pousser nécessairement dans l'ouverture H aussitôt que le piston et sa tige sont élevés à une hauteur telle que l'ouverture soit au-dessus du couvercle ; C est un petit trou pratiqué dans le piston, par lequel l'eau peut sortir du fond du tube A lorsqu'on enfonce, pour la première fois, le piston dans ce tube.



Voici quel est l'usage de cet instrument. On verse dans le tube A une petite quantité d'eau, à la hauteur de trois ou quatre lignes, puis on introduit le piston, et on le pousse jusqu'au fond, jusqu'à ce qu'une partie de l'eau versée sorte par le trou C ; alors ce trou est fortement bouché par la verge M ; on place ensuite le couvercle où sont pratiquées les ouvertures nécessaires. Au moyen d'un feu modéré, le tube A, qui est en métal très mince, s'échauffe bientôt, et l'eau changée en vapeur exerce une pression assez forte pour vaincre le poids de l'atmosphère, et pousser en haut le piston B jusqu'au moment où le trou H de la tige du piston s'élève au-dessus du couvercle ; alors on entend le bruit de la verge EH, poussée dans l'ouverture H par le ressort. Il faut, dans ce moment, ôter aussitôt le feu, et les vapeurs renfermées dans le tube à minces parois se résolvent bientôt en eau par l'action du froid, et laissent le tube parfaitement vide d'air. On retire ensuite la verge EH de l'ouverture H, ce qui permet à la tige de redescendre ; aussitôt le piston B éprouve la pression de tout le poids de l'atmosphère, qui produit avec d'autant plus de force ce mouvement désiré que le diamètre du tube est plus grand. On ne peut douter que le poids de la colonne atmosphérique ne soit mis tout entier à profit dans des tubes de cette espèce. J'ai reconnu, par expérience, que le piston élevé par la chaleur au haut du tube redescendait peu après jusqu'au fond, et cela à plusieurs reprises, en sorte que l'on ne peut supposer l'existence de la plus petite quantité d'air qui res-

terait dans le fond du tube; or mon tube, dont le diamètre n'excède pas deux doigts, élève cependant un poids de 60 livres avec la même vitesse que le piston descend dans le tube, et le tube lui-même pèse à peine 5 onces. Je suis donc convaincu qu'on pourrait faire des tubes pesant au plus 40 livres chacun, et qui cependant pourraient à chaque mouvement élever à 4 pieds de haut un poids de 2000 livres. J'ai éprouvé, d'ailleurs, que l'espace d'une minute suffit pour qu'avec un feu modéré le piston soit porté jusqu'au haut de mon tube; et comme le feu doit être proportionné au diamètre des tubes, de très grands tubes pourraient être échauffés presque aussi vite que des petits : on voit clairement par là quelles immenses forces motrices on peut obtenir au moyen d'un procédé si simple, et à quel bas prix. On sait en effet que la colonne d'air pesant sur un tube de 1 pied de diamètre égale à peu près 2000 livres; que si le diamètre est de 2 pieds, ce poids sera environ de 8000 livres, et que la pression augmentera, ainsi de suite, en raison des diamètres. Il suit de là que le feu d'un fourneau qui aurait un peu plus de 2 pieds de diamètre suffirait pour élever à chaque minute 8000 livres pesant à une hauteur de 4 pieds, si l'on avait plusieurs tubes de cette hauteur, car le feu, renfermé dans un fourneau de fer un peu mince, pourrait être facilement transporté d'un tube à un autre; et ainsi le même feu procurerait continuellement, soit dans l'un, soit dans l'autre tube, ce vide dont les effets sont si puissants. Si l'on calcule maintenant la grandeur des forces que l'on peut obtenir par ce moyen, la modicité des frais nécessaires pour acquérir une quantité de bois suffisante, on avouera sans doute que notre méthode est de beaucoup supérieure à l'usage de la poudre à canon, dont on a parlé plus haut, surtout puisqu'on obtient ainsi un vide parfait, et qu'on obvie aux inconvénients que nous avons énumérés.

Comment peut-on employer cette force pour tirer hors des mines l'eau et le minerai, pour lancer des globes de fer à de grandes distances, pour naviguer contre le vent et pour faire beaucoup d'autres applications? C'est ce qu'il serait beaucoup trop long d'examiner. Mais chacun, dans l'occasion, doit imaginer un système de machines approprié au but qu'il se propose. Je dirai cependant ici en passant sous combien de rapports une force motrice de cette nature serait préférable à l'emploi des rameurs ordinaires pour imprimer le mouvement aux vaisseaux : 1° Les

rameurs ordinaires surchargent le vaisseau de tout leur poids, et le rendent moins propre au mouvement ; 2° ils occupent un grand espace, et par conséquent embarrassent beaucoup sur le vaisseau ; 3° on ne peut pas toujours trouver le nombre d'hommes nécessaire ; 4° les rameurs, soit qu'ils travaillent en mer, soit qu'ils se reposent dans le port, doivent toujours être nourris, ce qui n'est pas une petite augmentation de dépense. Nos tubes, au contraire, ne chargeraient, comme on l'a dit, le vaisseau que d'un poids très faible ; ils occuperaient peu de place ; on pourrait se les procurer en quantité suffisante s'il existait une fois une fabrique pour les confectionner ; et enfin ces tubes ne consumeraient du bois qu'au moment de l'action, et n'entraîneraient aucune dépense dans le port. Mais comme des rames ordinaires seraient mues moins commodément par des tubes de cette espèce, il faudrait employer des roues à rames telles que je me souviens d'en avoir vu dans la machine construite à Londres par l'ordre du sérénissime prince palatin Rupert. Elle était mise en mouvement par des chevaux à l'aide de rames de cette espèce, et laissait de bien loin derrière elle la chaloupe royale, qui avait cependant seize rameurs. Il n'est pas douteux que nos tubes pussent imprimer un mouvement de rotation à des rames fixées à un axe, si les tiges des pistons étaient armées de dents qui s'engrèneraient nécessairement dans des roues également dentées et fixées à l'axe des rames. Il serait nécessaire seulement que l'on adaptât trois ou quatre tubes au même axe, pour que son mouvement pût continuer sans interruption. En effet, tandis qu'un piston toucherait au fond de son tube, et ne pourrait plus, par conséquent, faire tourner l'axe avant que la force de la vapeur l'eût élevé au sommet du tube, on pourrait, au moment même, éloigner l'arrêt d'un autre piston qui, en descendant, continuerait le mouvement de l'axe. Un autre piston serait ensuite poussé de la même manière et exercerait sa force motrice sur le même axe, tandis que les pistons, abaissés en premier lieu, seraient de nouveau élevés par la chaleur, et se retrouveraient ainsi en état de mouvoir le même axe de la manière précédemment décrite. D'ailleurs, un seul fourneau et un peu de feu suffiraient pour élever successivement tous les pistons. Mais on objectera peut-être que les dents des tiges engrenées dans les dents des roues exerceront sur l'axe des actions en sens inverse quand elles descendront et quand elles remonteront, et qu'ainsi les pistons montants contrarieront le mouvement

des pistons descendants, et réciproquement. Cette objection est sans force. Tous les mécaniciens connaissent parfaitement un moyen par lequel on fixe à un axe des roues dentées qui, mues dans un sens, entraînent l'axe avec elles, et qui, dans l'autre sens, ne lui communiquent aucun mouvement, et le laissent obéir librement à la rotation opposée. La principale difficulté est donc d'avoir une fabrique où l'on forge facilement ces grands tubes, comme on l'a dit en détail dans les *Actes des érudits*, du mois de septembre 1688. Et cette nouvelle machine doit être un nouveau motif pour accélérer cet établissement, car elle démontre clairement que ces grands tubes pourraient être appliqués très commodément à plusieurs usages importants.

(*Actes des érudits*, août 1690.)

NOTE III.

NOUVEAUX DOCUMENTS SUR L'HISTOIRE DE LA DÉCOUVERTE DES BATEAUX A VAPEUR.

Par le professeur Kuhlmann, de Hanovre.

Dans l'histoire des bateaux à vapeur, le nom de Papin est connu de tous ceux qui s'intéressent à cette branche des arts. Mais on avait ignoré jusqu'ici la part véritable que Papin avait prise à cette découverte. En effet, ce que rapportent à ce sujet M. Arago dans sa *Notice*, et M. Mellet dans sa traduction de l'ouvrage de Tredgold sur la *Machine à vapeur* (p. 13 et 87), fait seulement connaître les idées de Papin sur cette question, mais ne nous apprend rien sur la participation personnelle de ce savant à cette découverte au point de vue pratique. C'est donc avant autant de surprise que de bonheur que l'on a appris, depuis qu'il a été permis d'examiner les manuscrits de Leibnitz dans la bibliothèque de Hanovre, qu'il existe dans ces manuscrits une correspondance entre Leibnitz et Papin, qui prouve jusqu'à l'évidence que, le 27 septembre 1707, Papin a navigué

sur la Fulda, de Cassel à Münden, en Hanovre, en se servant d'un bateau à roues dont il donne la description, et qui était mis en mouvement par la vapeur. Pour que chacun puisse apprécier par lui-même la vérité de ce fait et en prendre une ample connaissance, nous produisons ici la copie fidèle de ces lettres dans l'ordre chronologique. Nous ne ferons à cet égard qu'une seule réflexion. Aucune des lettres de Papin ne renferme la description de la machine à vapeur dont il se servait. Il est probable que c'était la machine à vapeur dite *hydraulique* ou de Savery que Papin avait modifiée. On sait qu'après avoir pris connaissance de cette machine, Papin lui avait malheureusement accordé la préférence sur celle qu'il avait imaginée lui-même, et décrite en 1688 dans les *Actes de Leipsick*. Ce qui nous porte à adopter cette opinion, c'est que dans l'écrit de Papin, *Ars nova*, etc., publié en 1707, on trouve la description et la figure de cette machine de Savery qu'il avait modifiée.

Voici maintenant la correspondance originale de Papin et de Leibnitz.

A. *Première lettre de Papin à Leibnitz.*

Cassel ce 7. Juillet 1707.

Monsieur,

Vous scavez qu'il y a long temps que Je me plains d'avoir icy beaucoup d'ennemis trop puissants; Je prenois pourtant patience; mais depuis peu J'ay éprouvé leur animosité de telle maniere qu'il y auroit eu trop de temerité à moy d'oser vouloir demeurer plus long temps exposé à de tels dangers. Je suis persuadé pourtant que J'aurois obtenu justice si J'avois voulu avoir recours à Monseigneur et faire un procès; mais Je n'ay dêja foit perdre que trop de temps à S.A.S. pour mespetites affaires et il vaut bien mieux ceder et quitter la place que d'être trop souvent obligé d'importuner un si grand Prince. J'ay donc présenté requête pour le supplier tres humblement de m'accorder la permission de me retirer en Angleterre : et S. A. S. y a consenti avec des circonstances qui font voir qu'elle a encor, comme elle a toujours eu, beaucoup plus de bonté pour moi que Je ne merite.

Une des raisons que J'ay alleguées dans madi requête c'est qu'il est important que ma nouvelle construction de bateau soit mise à l'épreuve dans un port de mer, comme Londres, ou on

pourra luy donner assez de profondeur pour appliquer la nouvelle invention qui, par le moyen du feu, rendra un ou deux hommes capables de faire plus d'effect que plusieurs centaines de rameurs. En effect mon dessein est de fare le voyage, dans ce même bateau dont J'ay dêja eu l'honneur de Vous parler autrefois, et on verra dabord que sur ce modele il sera facile d'en faire d'autres ou la machine à feu s'appliquera fort commodement. Mais il se trouve une difficulté, c'est que ne sont point les bateaux de Cassel qui vont à Brême : et quand les marchandises de Cassel sont arrivées à Münden il faut les decharger pour les transporter dans les bateaux qui descendent à Brême. J'en ay été asseuré par un batelier de Münden qui a dit qu'il faut une permission expresse pour faire passer un bateau de la Fulda dans le Veser. Cela m'a fait resoudre, Monsieur, de prendre la liberté d'avoir recours à Vous pour cela : comme c'est icy une affaire particuliere et sans consequence pour le negoce, Je suis persuadé que vous aurez la bonté de me procurer ce qu'il faut pour faire passer mon bateau à Münden : vû surtout que Vous m'avez dêja fait connoître combien Vous esperez de la machine à feu pour les voitures par eau. On m'a aussi averti qu'à Hamel il y a un courant extrêmement rapide; et que il s'y perd des bateaux : cela me feroit souhaitter de scavoir à peu prés à combien de degrez ce canal est incliné sur l'horizon : ainsi, Monsieur, si Vous avez eu la curiosité de faire cette observation, Je Vous supplie d'avoir aussi la bonté de me dire ce qui en est : en tout cas il vaudra toûjours mieux prendre trop que pas assez de precaution pour garantir mon bateau de tout accident. Si J'étois assez heureux pour que vos affaires Vous appellassent dans l'une ou l'autre des deux villes dans le temps que J'y passeray : Je me ferois une extrême satisfaction d'y entendre et de profiter de vos bons avis en voyant nôtre bateau : et de Vous y supplier de bouche de me continuer la même bienveillance dont Vous m'honorez depuis si long temps et de me permettre toûjours de me dire avec respect

Monsieur,

Votre tres humble et tres obeissant serviteur

D. Papin.

Je ferai mes efforts pour partir à la fin de ce mois ou au commencement de l'autre.

B. *Lettre de Leibnitz au Conseil privé de l'électeur de Hanovre* (1).

Hanovre, 13 juillet 1707.

Denis Papin, conseiller et médecin près Monseigneur le landgrave de Cassel, et professeur de mathématiques à Marbourg, a l'intention d'envoyer à Brême, en lui faisant descendre le Weser, un bateau d'une invention extraordinaire. Mais comme il apprend que les bateaux venant de Cassel, ou d'autre part, par la Fulda, n'entrent pas ordinairement dans le Weser, mais qu'ils sont déchargés à Münden, et comme, par conséquent, il craint quelques difficultés, bien que ledit bateau se trouve dans un cas particulier, et qu'il ne soit point destiné au transport des marchandises,

Ce considérant, il vous prie très humblement de vouloir émettre une très gracieuse ordonnance pour que son dit bateau puisse descendre, pour cette fois-ci, partout et en tout endroit dans les possessions électorales, ce pourquoi j'ai dû transmettre sa demande en toute soumission.

G.-W. Leibnitz.

C. *Réponse du Conseil privé à Leibnitz* (2).

Hanovre, 25 juillet 1707.

Messieurs les conseillers privés m'ont dit et m'ont chargé de vous faire savoir que la pétition ci-dessus soulève une difficulté, sans cependant expliquer en quoi cette difficulté consiste; et de vous annoncer qu'en conséquence elle est refusée par Son Altesse Électorale.

H. Reiche.

A Monsieur de Leibnitz, conseiller privé de justice de S. A. E.

Au dos de cette réponse est écrit de la main de Leibnitz : « Papin, bateau à roues. »

(1) En allemand.
(2) Idem.

D. *Seconde lettre de Papin à Leibnitz.*

Cassel, ce 1er Août 1707.

Monsieur,

Je vous rens tres humbles graces de la continuation de vos bontez dont Je vois tant de preuves dans celle que Vous m'avez fait l'honneur de m'écrire le 18. Juillet. Je m'attendois en y répondant de Vous pouvoir marquer precisement le temps de mon depart; mais Monseigneur est absent et J'ay reçu une lettre d'un de ses gentilshommes que me marque que S. A. S. veut que J'attende son retour qui ne tardera pas plus de quinze jours : comme cette lettre étoit dattée du 22e Juill. il ne devroit y avoir plus gueres à attendre : mais il peut survenir tant de choses, qui obligent à changer de resolution, que Je juge le temps de mon depart encore fort incertain. Cependant Je Vous supplie tres humblement, Monsieur, d'avoir la bonté de m'envoier la permission de passer mon bateau dans le Weser afin que cela ne me cause point de retardement. Je ne manqueray pas de me donner l'honneur de Vous mander le jour que Je devray partir sitôt que Je le scauray : afin que Je puisse encore recevoir vos ordres pour l'Angleterre ou icy ou dans quelqu'une des villes par ou Je paseray : et un de mes principaux soins sera toujours de tâcher à Vous faire connoître avec combien d'estime et de respect Je suis,

Monsieur,

Vôtre tres humble et tres obeissant serviteur,

D. Papin.

E. *Troisième lettre de Papin à Leibnitz.*

Cassel, le 15e Septembre 1707.

Monsieur,

Je me donnay l'honneur de Vous écrire le 1e de ce mois pour Vous dire que Monseigneur le Landgrave étoit arrivé et que Je Vous suppliois tres humblement de me faire sçavoir quelles seroient vos resolutions au sujet de vôtre voyage de Cassel · afin

que Je prise mes mesures pour cela : à présent, Monsieur, Je Vous diray que l'expérience de mon bateau a été faite et qu'elle a reussi de la maniere que Je l'esperois : la force du courant de la riviere êtoit si peu de chose en comparaison de la force de mes rames qu'on avoit de la peine à reconnoître qu'il allât plus vite en déscendant qu'en montant. Monseigneur eut la bonté de me temoigner de la satisfaction d'avoir vû un si bon effet et Je suis persuadé que si Dieu me fait la grace d'arriver heureusement à Londres et d'y faire des vaisseaux de cette nouvelle construction qui ayent assez de profondeur pour appliquer la machine à feu à donner le mouvement aux rames : Je suis persuadé, dije, que nous pourrons produire des effets qui paroîtront incroyables à ceux qui ne les auront pas vûs.

J'aurois fort souhaité, Monsieur, avoir l'honneur et le profit de recevoir vos bons avis non seulement sur ce bateau mais aussi sur quelques autres machines dont Vous auriez pu encore mieux juger en les voiant que sur ce que Vous en avez lû dans mes lettres : mais voiant que Monseigneur l'électeur a passé par icy depuis un temps assez considerable et que Vous ne veniez pourtant point, quoyque Vous m'eussiez mandé que Vous n'attendiez que son départ pour venir Vous même icy : la saison étant déja aussi avancé qu'elle est : J'ay pris mes mesures pour partir, Dieu aidant, lundy ou mardy prochain : ainsi, Monsieur, Je des espere désormais de pouvoir avoir l'honneur de Vous voir icy ; mais, s'il Vous plait de m'honorer de quelques uns de vos commandements pour la Hollande ou pour l'Angleterre Je ne manqueray pas en passant par Münden et par Hamel d'aller voir à la poste si Vous n'y aurez point envoyé quelque lettre pour moy.

Je suis avec respect,

Monsieur,

Votre tres humble et tres obeissant serviteur,

D. Papin.

p. s.

Je viens de recevoir une lettre de Münden d'une personne qui a parle au bailli pour la permission de passer mon bateau dans le Weser et elle a eu pour rêponse que c'est une chose impossible : que les bateliers ne le veulent plus faire parce qu'ils ont payé

l'amende de cent écus et que la permission de Monseigneur l'Électeur d'Hanovre est nécessaire pour cela : Il est vrai que quelques bateliers m'ont dit le contraire, mais d'autres aussi ont dit qu'il falloit une permission de S. A. E. Je ne puis croire que ceux qui m'ont dit le contraire ont voulu me tromper : enfin Je me vois en grand danger qu'après tant de peines et de depenses qui m'ont été causées par ce bateau il faudra que Je l'abandonne et que le Public soit privé des avantages que J'aurois pû, Dieu aidant, procurer par ce moyen. Je m'en consoleray pourtant voiant qu'il n'y a point de ma faute : car Je ne pourrois jamais m'imaginer qu'un dessein comme celuy là dût échouer faute de permission.

r. p. s.

Depuis mon premier poscript. Je viens encor de parler à un autre batelier qui s'engage à obtenir tres facilement la permission dont il s'agit : ainsi Je crois que Monsieur le Baillif a voulu railler quand il a representé les difficultez si grandes ou qu'il a eu quelque autre visée que Je n'entreprens pas de deviner.

F. *Lettre de Zeuner, bailli de Münden, à Leibnitz* (1).

Monsieur,

Ayant apris par le medecin Papin, qui venant de Cassel passa auant hier par cette Ville, que Vous Vous trouuez presentement en cette Cour la, Je me donne l'honneur de Vous aduertir, Monsieur, que ce pauvre homme de Medecin, qui m'a montré Votre lettre de recommendation pour Londres, a eû le malheur de perdre ici sa petite machine d'un vaisseau à roues, que Vous avez vue, les Batelliers de cette Ville ci ayant eû l'insolence de l'arreter et de le priver du fruit de ses peines, par les quels il a pensé s'introduire auprez de la Reine d'Angleterre. Comme on ne m'avoit pas adverti de cette violence, qu'après que ce bon homme fût parti : et qu'il ne s'etoit point adressé a nous, mais au Magistrat de la ville pour s'en plaindre, quoy que cette affaire étoit de ma Jurisdiction; Vous voyez Monsieur que ce n'étoit pas

(1) En français.

en mon pouvoir d'y remedier, et c'est pourquoi Je prends la liberté de Vous informer de ce fait et qu'en cas que cet homme en voudroit faire des plaintes a Hannover ou a Cassel Vous soyez persuadé de la verité et de la brutalité de ces gen ci. Si en repassant a Hannover Je puis avoir l'honneur de Vous voir Monsieur, Je me donneray celui de Vous assurer moj même de la passion constante avec laquelle Je suis,

Monsieur,

Votre tres humble et tres obeiss. serviteur,

ZEUNER.

Il résulte de là que Papin est réellement arrivé à Münden avec son bateau ; mais qu'arrivé à cet endroit, son bateau a été détruit par les bateliers, et que Papin a été dégoûté par cet événement d'entreprendre de nouveaux essais.

La preuve ultérieure de son malheur se trouve dans une note marginale que contient la lettre d'un certain Hattenbach à Leibnitz, datée du 20 octobre 1717, et dont voici la teneur :

« Le pauvre Papin a été obligé de laisser son bateau à Münden, n'ayant jamais pu obtenir de l'amener. »

NOTE IV.

TEXTE DU PREMIER BREVET DE JAMES WATT.

Ma méthode pour diminuer la dépense de la vapeur, et par conséquent celle du combustible employé pour alimenter les foyers des machines, est basée sur les principes suivants :

Premièrement. Il faut que la capacité dans laquelle doit agir la vapeur pour mettre en mouvement la machine, capacité qu'on appelle cylindre dans les machines à feu ordinaires, et à laquelle je donne le nom de *vase à vapeur ;* il faut, dis-je, que cette capacité, pendant tout le temps que la machine est en jeu, soit entretenue au même degré de chaleur que la vapeur qui y est introduite. Or il est facile d'obtenir ce résultat, soit en couvrant le

cylindre d'une enveloppe de bois ou de toute autre matière qui laisse difficilement échapper la chaleur, soit en l'entourant de vapeur ou autre corps échauffés, ou enfin en n'y laissant pénétrer ni eau, ni aucune autre substance plus froide que la vapeur, dont le simple contact pourrait avoir des inconvénients.

Secondement. Il faut que la machine fonctionne en totalité ou en partie par l'effet de la condensation de la vapeur; cette condensation doit toujours s'opérer hors du cylindre et dans un vaisseau séparé, bien que communiquant momentanément avec lui. Ces vaisseaux, que j'appelle *condenseurs*, doivent, pendant tout le temps que marche la machine, être entretenus au degré de température de l'air extérieur, par l'application d'eau ou autres corps refroidissants.

Troisièmement. Tout air ou tout fluide élastique, qui, s'étant dégagé pendant la condensation produite par le froid du condenseur, pourrait entraver le jeu de la machine, doit en être extrait au moyen d'une pompe manœuvrée par la machine même ou autrement.

Quatrièmement. Je me propose dans plusieurs circonstances, pour agir sur les pistons ou sur toute autre pièce qui pourrait les remplacer, de substituer l'emploi de la force *expansive de la vapeur* à celui de la pression atmosphérique, maintenant en usage dans les machines ordinaires. Dans le cas où il serait difficile de se procurer de l'eau froide en quantité suffisante pour la condensation, la machine pourrait encore marcher par *la force de la vapeur*, avec cette seule modification qu'on laisserait la vapeur s'échapper *dans l'air* dès qu'elle aurait achevé ses fonctions.

Cinquièmement. Lorsque j'ai besoin d'un mouvement circulaire, je donne *aux vases à vapeur la forme d'anneaux creux, avec des passages convenablement ménagés pour l'entrée et la sortie de la vapeur; chaque cercle ou anneau est monté sur un axe ou arbre horizontal, comme la roue d'un moulin à eau.* Ces anneaux, dans leur cavité, sont garnis d'un certain nombre de soupapes qui ne laissent circuler l'air ou la vapeur que dans un sens. Dans l'intérieur de leur circonférence, sont des poids disposés de manière à fermer exactement le passage, sans cependant qu'ils cessent de pouvoir se mouvoir avec facilité. La vapeur, dans ces machines, dès qu'elle est introduite entre les poids et les soupapes, agissant également sur les deux pièces, fait lever le poids d'un côté de la roue, et par sa réaction successive sur les soupapes

donne à la roue un mouvement de rotation, les soupapes ne s'ouvrant que dans le sens de la pression du poids. La roue, tout en tournant, reçoit de la chaudière la vapeur nécessaire, qui, après avoir fait ses fonctions, ou se condense dans un condenseur, ou bien s'échappe dans l'air.

Sixièmement. Je propose, dans certaines occasions, d'employer *un degré de froid qui, sans être tel qu'il ramène la vapeur à l'état liquide, la contractera assez pour que le jeu de la machine ne soit produit que par la dilatation et la contraction alternatives de la vapeur.*

Septièmement. Enfin, au lieu d'eau pour empêcher le piston et autres parties de la machine de livrer passage à l'air ou à la vapeur, j'emploie *de l'huile, de la cire, du suif, des matières résineuses, du mercure et autres métaux à l'état liquide.*

NOTE V.

Mémoire présenté à la Société royale de Nancy, sur la manière de suppléer à l'action du vent sur les vaisseaux, par M. Gautier, chanoine régulier.

M. de Chazelles, de l'Académie royale des sciences, s'est assuré, par des expériences répétées avec exactitude, qu'une galère qui a 26 rames de chaque côté, et dont la chiourme est de 260 hommes, ne fait que 4320 toises par heure.

On voit par des expériences faites à Marseille le 12 février 1693, que la vitesse d'une galère à rames perpendiculaires ou tournantes, inventées par M. Duguet, ne l'emporte pas sur celle d'une galère ordinaire.

Il résulte de ces faits, que la force d'un équipage fort coûteux ne peut faire avancer un grand vaisseau avec beaucoup de vitesse, et qu'il serait à souhaiter qu'on pût recourir en plein calme à un autre principe de mouvement.

Les rames à feu que je propose procureront plusieurs grands avantages :

1° Elles joueront soir et matin, sans employer la force des

hommes, au lieu que, de quelque manière qu'on applique des rames, soit celles de MM. de Camus, Martenot Limousin, ou quelque autre espèce, il faudra au moins une chiourme de 400 hommes, dont la moitié fera voguer le vaisseau, tandis que l'autre se reposera ; encore ira-t-on lentement. Ajoutez que bien peu d'hommes sont en état de soutenir longtemps un travail continuel, surtout pendant les chaleurs. Dans les voyages de long cours, il arrive fréquemment que l'équipage est attaqué de scorbut ou d'autres maladies. D'ailleurs il n'y a que des vaisseaux de guerre qui puissent avoir un équipage nombreux. En se servant des rames à feu, on ne sera pas obligé d'avoir tant de rameurs, dont la nourriture et les appointements monteraient fort haut.

2° La machine qui fera jouer les rames pourra servir à faire aller les pompes des vaisseaux, à lever l'ancre, etc., et son feu moteur à cuire les aliments, à renouveler l'air.

3° On donnera aux vaisseaux une vitesse proportionnelle à la grandeur de la machine qu'on emploiera.

Après avoir donné une idée générale de mon objet, je passe aux développements qu'il demande. Je passerai ensuite au moyen d'appliquer avantageusement la force des hommes aux rames perpendiculaires.

Comme le mécanisme et la théorie des machines à feu sont très bien détaillés dans les ouvrages de MM. Bélidor et Désaguliers, il paraît inutile de les retracer ici. Je propose donc d'établir dans les vaisseaux des machines à feu telles à peu près que celles dont on se sert pour puiser l'eau des mines. Ces machines se procurant d'elles-mêmes tous leurs mouvements, deux hommes tour à tour suffisent pour les gouverner.

Deux objections se présentent d'abord : la machine occupera beaucoup de place, et il faudra des provisions de bois ou de charbon de terre pour la faire jouer.

Je réponds : 1° que si l'on employe des hommes pour faire aller des rames, ils occuperont beaucoup plus de place que la machine ; 2° qu'on doit sacrifier de petits avantages à de plus grands ; 3° que si l'on veut établir une machine dont la puissance motrice ait autant de force que celle de Frènes, c'est-à-dire 10,828 livres, il ne faudra qu'un emplacement circulaire de 10 à 12 pieds de diamètre sur autant de hauteur, pour contenir l'alembic, son fourneau et la maçonnerie ; le cylindre n'ayant que 33 pouces de diamètre, y compris son épaisseur, et 9 pieds de hauteur, ne sera pas bien embarrassant.

A l'égard des provisions de bois ou de charbon de terre, elles occuperont moins de place que celles qui sont nécessaires pour la nourriture d'une chiourme, qui en occuperait beaucoup elle-même. En voici la preuve : la nourriture, tant liquide que solide, qui sera consommée par 500 hommes en un jour, à 5 livres pesant pour chacun, occupe environ 36 pieds cubes, au lieu que la machine établie à Frênes ne consomme au plus, en vingt-quatre heures, que 27 à 28 pieds cubes de charbon de terre. M. Désaguliers, en parlant d'une machine qui élève l'eau à 29 pieds au-dessus d'un puits, dit qu'autant de feu environ qu'on en use dans une cheminée suffit pour mouvoir cette machine et lui faire enlever 15 tonneaux par heure.

Négligeons les petites différences, et supposons que les aliments pour 500 hommes n'occuperont pas plus de place que le charbon de terre. On aperçoit d'abord une disproportion énorme pendant une navigation un peu longue. Par exemple, qu'un vaisseau fasse un voyage de six mois, et que durant ce temps il manque de vent pendant trente jours ; voilà 500 hommes nourris inutilement pendant cinq mois, et par conséquent 5400 pieds cubiques remplis en pure perte par les aliments liquides et solides. Il est superflu d'insister davantage sur ce sujet ; il est évident que les rames à feu seront beaucoup plus avantageuses que celles des vogueurs.

On objectera peut-être qu'il est à craindre que cette machine ne mette le feu au vaisseau. On répondra qu'il est facile de prendre des précautions qui éloignent le danger. 1° On peut se passer de maçonnerie et fortifier l'alembic contre la force de la vapeur avec des bandes de fer circulaires croisées par d'autres bandes et liées ensemble ; 2° le fourneau sera de fer, et ses pieds porteront dans un réservoir de même matière, en forme de caisse plate, qu'on remplira d'eau ; 3° on pourra faire passer aussi dans des tubes pleins d'eau les contreficlies, fourchettes et autres branches de fer nécessaires pour la solidité de la machine.

Reste à développer la manière d'appliquer cette machine à feu à des rames perpendiculaires. Le cylindre sera placé dans l'entre-deux des ponts, entre le grand mât et le mât de mizaine, et l'alembic à fond de cale, de manière pourtant qu'une partie de l'eau d'injection soit portée dans la mer par un tuyau dont l'issue sera au-dessus de la ligne de flottaison. On n'aura pas besoin d'un réservoir provisionnel pour fournir de l'eau à l'alembic ; on la tirera de la mer à l'aide d'un tuyau garni d'un robinet. Un rameau

du même tuyau fournira de l'eau à une bache, d'où la pompe refoulante la portera dans la cuvette d'injection.

Comme les jantes cannelées du balancier ont une courbure qui a pour centre le point d'appui, les chaînes auront toujours une direction verticale au même endroit. Pour appliquer le mouvement perpendiculaire de la chaîne qui répond aux pompes aspirantes dans les machines à feu, on pourra se servir d'une roue cannelée de l'épaisseur des jantes du balancier, laquelle sera mobile autour d'un arbre dont les extrémités porteront des rames tournantes. Cette roue sera garnie de cliquets qui permettront de la faire tourner vers l'arrière du vaisseau sans que l'autre tourne, et quand elle sera mue vers l'avant, elle fera tourner l'arbre dans le même sens. La chaîne deviendra la tangente de cette roue ; elle y sera fixée par une de ses extrémités. Après lui avoir fait faire autour une ou plusieurs révolutions, elle ne pourra s'élever perpendiculairement sans faire tourner la roue, et, par conséquent, l'arbre et les rames d'une manière propre à faire avancer le vaisseau. Lorsque le balancier cessera de faire monter la chaîne, un poids suspendu à une corde mise autour de la roue la fera mouvoir en sens contraire, et la remettra dans son premier état à mesure que descendra la chaîne du balancier.

La machine à feu donnant 15 impulsions dans une minute, et le jeu du piston dans le cylindre étant de 6 pieds, on voit qu'une puissance motrice de près de 11,000 livres fera avancer le vaisseau avec une vitesse considérable, et qui deviendra d'autant plus grande que la roue à cliquets sera d'un plus petit diamètre, qu'on doit pourtant proportionner à la force de la machine.

La pratique, dans cette matière, n'est pas bien d'accord avec la théorie. J'ai reconnu, par d'autres expériences, que la résistance d'un fluide n'est pas tout à fait proportionnelle au quart de la vitesse du mobile ; mais les approximations théoriques rendent assez de services pour ne pas les discréditer. D'ailleurs l'exacte vérité compliquerait beaucoup des calculs qu'on ne saurait trop simplifier.

Au lieu de la roue à cliquets, on pourrait se servir de la roue à rochets de M. de la Garousse, en mettant à la chaîne un cadre ou étrier courbé qui prendrait les dents de cette roue fixée à l'arbre des rames ; mais on perdrait à la force ; au lieu qu'en la déployant par une tangente à la roue, on la conserve tout entière proportionnellement à la grandeur de son rayon.

Digitized by Google

Enfin, on pourra supprimer le balancier et se servir également de la roue à cliquets. La chaîne fixée à cette roue par une de ses extrémités passera sur une grande poulie ou un treuil mobile, posé au-dessus du cylindre et sera attachée au piston par son autre extrémité.....

(*Mémoires de la Société royale des sciences et belles-lettres de Nancy*, t. III, p. 250, 1755.)

NOTE VI.

ACTE DE NOTORIÉTÉ DE L'EXPÉRIENCE FAITE A LYON PAR LE MARQUIS DE JOUFFROY EN JUILLET 1783.

Par-devant les conseillers du roi, notaires à Lyon, soussignés, furent présents : Maître Laurent Basset, chevalier, ancien conseiller en la cour des monnaies, sénéchaussée et présidial de Lyon, lieutenant général de police de ladite ville; M. l'abbé Monges, chevalier, historiographe de la ville de Lyon, de l'Académie des sciences de ladite ville ; M. Antoine-François de Landine, avocat en parlement de l'Académie des sciences de Lyon, correspondant de l'Académie des inscriptions et belles-lettres de Paris, associé de celles de Dijon et Villefranche ; M. Charles-Joseph Mathon, chevalier, seigneur de Lacour et autres lieux, des Académies de Lyon et Villefranche ; M. Claude-Antoine Roux, professeur d'éloquence, ci-devant professeur de physique et de mathématiques au collége Royal-Dauphin de Grenoble, de l'Académie des sciences de Lyon, etc. ; M. Gabriel-Étienne Lecamus, avocat en parlement, des Académies de Lyon et Dijon, correspondant de la société royale de Montpellier, et receveur des gabelles à Lyon ; maître Jean-Baptiste Salicis, curé de la paroisse de Vaize, un des faubourgs de cette ville ; et M. Jean-Baptiste Salicis neveu, vicaire de ladite paroisse ; tous demeurant à Lyon ;

Lesquels ont certifié et attesté que M. Claude-François Dorothée, comte de Jouffroy d'Abbans, les ayant invités, le 15 du mois de juillet dernier, à être présents à l'essai qu'il se proposait, de faire remonter un bateau long de 130 pieds, de 14 de largeur, tirant 3 pieds d'eau, ce qui suppose un poids de 327,000 livres, contre le cours d'eau de la Saône, qui pour lors était au-dessus des

moyennes eaux, M. de Jouffroy remonta en effet, sans le secours d'aucune force animale, et par l'effet seul de la pompe à feu, pendant un quart d'heure environ ; après quoi M. de Jouffroy mit fin à son expérience. De laquelle attestation les sieurs comparants ont requis le présent acte, qui leur a été octroyé par lesdits notaires, pour servir et valoir ce que de raison.

Fait et passé à Lyon, en l'étude, l'an 1783, le 19 août, avant midi, et ont signé sur la minute, contrôlée, restée au pouvoir de maître Barond, un des notaires soussignés.

DEVILLIERS et BAROND, notaires.

NOTE VII.

Paris, le 4 pluviose an XI (1803).

Robert Fulton aux citoyens Molard, Bandel et Montgolfier, amis des arts.

« Je vous envoie ci-joints les dessins esquisses d'une machine que je fais construire, avec laquelle je me propose de faire bientôt des expériences pour faire remonter des bateaux sur des rivières, à l'aide de pompes à feu. Mon premier but, en m'occupant de cet objet, était de le mettre en pratique sur les longs fleuves en Amérique, où il n'y a pas de chemins de halage, ou ils ne sont guères praticables, et où, par conséquent, les frais de navigation à l'aide de vapeur seront mis en comparaison avec celui du travail des hommes et non pas des chevaux, comme en France.

» Vous voyez bien qu'une telle découverte, si elle réussit, sera infiniment plus importante en Amérique qu'en France, où il existe partout des chemins de halage et des compagnies établies qui se chargent du transport des marchandises à un taux si modéré, que je doute fort si jamais un bateau à vapeur, tout parfait qu'il puisse être, peut rien gagner sur ceux avec chevaux pour les marchandises. Mais, pour les passagers, il est possible de gagner quelque chose à cause de la vitesse.

» Dans ces dessins vous ne trouverez rien de nouveau, puisque ce sont des rames à eau, moyen qui a été souvent essayé et toujours abandonné, parce qu'on croyait qu'il donnait une prise

désavantageuse dans l'eau ; mais, d'après les expériences que j'ai déjà faites, je suis convaincu que la faute n'a pas été dans la roue, mais dans l'ignorance des proportions des vitesses des puissances, et probablement des combinaisons mécaniques.

» J'ai pensé par mes expériences très exactes, que les roues à eau sont beaucoup préférables aux chapelets ; par conséquent, quoique les roues ne soient pas une nouvelle application, si, cependant, je les combine de manière qu'une bonne moitié de la puissance de la machine agisse en poussant le bateau, de même que si la prise était de la terre, la combinaison sera infiniment meilleure que tout ce qu'on ait fait jusqu'ici, et c'est, dans le fait, une nouvelle découverte.

» Pour transporter des marchandises, je propose un bateau à machine destiné à tirer un ou plusieurs autres bateaux à charge, chacun desquels sera si serré à son devancier que l'eau ne coule pas entre pour faire résistance. J'ai déjà fait ceci dans ma patente pour des petits canaux, et il est indispensable pour des bateaux marchands mus par la machine à feu.

» Par exemple..... (1).

» Supposez le bateau à machine A présentant à l'eau une face de 20 pieds, mais pointé à un angle de 50 degrés ; il lui faudrait une machine de 420 livres de puissance faisant 3 pieds par seconde pour le mouvoir une lieue par heure dans l'eau stagnante. Si les bateaux B et C ont des faces pareilles à A, il leur faudra à chacun une égale puissance de 420 livres, c'est-à-dire, 1,260 livres pour les trois, tandis que si ils sont liés de la manière que j'ai indiquée, la force de 420 suffira pour tous. Cette grande économie de puissance est trop conséquente pour être négligée dans une telle entreprise.

» Citoyens,

» Lorsque mes expériences seront faites, j'aurai le plaisir de vous inviter à les voir, et si elles réussissent, je me réserve la faculté ou de faire présent de mes travaux à la République, ou d'en tirer les avantages que la loi m'autorise. Actuellement je dépose ces notes entre vos mains, afin que si un projet semblable vous parvienne avant que mes expériences soient terminées, il n'ait pas la préférence sur le mien.

» Salut et respect. ROBERT FULTON. »

(1) Ici se trouve dans la lettre un croquis de trois bateaux, se suivant dans cet ordre : C, B, A.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME PREMIER.

LA MACHINE A VAPEUR. 1

CHAP. Ier. — Notions concernant la vapeur dans l'antiquité et le moyen âge. 1

CHAP. II. — Création de la méthode scientifique. — Bacon, Descartes et Galilée. — Salomon de Caus, sa vie et ses écrits; sa prétendue découverte de la machine à vapeur. 13

CHAP. III. — Le Père Leurechon. — Branca. — L'évêque Wilkins. — Le Père Kircher. — Le marquis de Worcester. 33

CHAP. IV. — Naissance de la physique moderne. — Découvertes de Torricelli et de Pascal. — Expérience de Périer sur le Puy-de-Dôme. — Invention de la machine pneumatique. — Application de ces découvertes à la création d'un moteur universel. . 45

CHAP. V. — Denis Papin. — Sa vie et ses travaux. 60

CHAP. VI. — Machine de Savery. — Newcomen et Cawley. — Machine à vapeur atmosphérique de Newcomen. 92

CHAP. VII. — Perfectionnements apportés à la machine de Newcomen. — Progrès de la physique touchant la théorie de la chaleur. — Découverte du thermomètre. — Travaux de Black sur la chaleur latente et la vaporisation. 104

CHAP. VIII. — James Watt. — Ses découvertes concernant la machine à vapeur. — Ses expériences théoriques. — Découverte du condenseur isolé. — Machine à simple effet. — James Watt et le docteur Roebuck. — Association de Boulton et de Watt. — Nouvelles découvertes de Watt pour l'application de la machine à vapeur aux usages généraux de l'industrie. — Machine à double effet. — Parallélogramme articulé. — Application de la manivelle à la transformation du mouvement. — Régulateur à force centrifuge. — Découverte de la détente de la vapeur. . . 118

CHAP. IX. — Dernières années de James Watt. 147

CHAP. X. — Description générale de la machine à vapeur. — Machine à condenseur. — Machine sans condenseur. — Machines à détente et sans détente. — Différents organes des machines à vapeur en général. — Chaudières. — Soupape de sûreté. — Flotteur. — Manomètre, etc. 158

CHAP. XI. — Coup d'œil sur les principaux systèmes de machines à vapeur mis en usage depuis Watt jusqu'à nos jours. 184

LES BATEAUX A VAPEUR. 195

CHAP. Ier. — Premiers essais de navigation par la vapeur exécutés en France par le marquis de Jouffroy. — Expériences sur le Doubs avec l'appareil palmipède. — Les bateaux à roues. — Expériences faites à Lyon avec le bateau à roues du marquis de Jouffroy. 197

CHAP. II. — Essais de Fitch et de Rumsey en Amérique. — Premiers travaux de Fulton. 216

CHAP. III. — Premier bateau à vapeur construit par Fulton en Amérique. — Premier voyage du *Clermont*. — Progrès de la marine à vapeur aux États-Unis. 238

CHAP. IV. — La navigation par la vapeur transportée en Europe. — Son établissement en France et en Angleterre. — Les bateaux à vapeur appliqués aux transports sur mer. — Navigation transatlantique. 245

CHAP. V. — Machines à vapeur employées à bord des bateaux et des navires. — Chaudières. — Moyens de propulsion. — Les roues à aubes. — L'hélice. 257

LES CHEMINS DE FER 284

CHAP. Ier. — Premières idées concernant la locomotion par la vapeur. — Le docteur Robison. — James Watt. — Voiture à vapeur de l'ingénieur français Cugnot. — Construction des premières machines à haute pression, par Olivier Evans. — Application de ces machines à la locomotion sur les routes. — Voiture à vapeur d'Olivier Evans. — Diligence à vapeur de Trevithick et Vivian. 286

CHAP. II. — Origine des chemins à rails. — Chemins à rails de bois des mines de Newcastle. — Chemins à rails de fer. — Emploi de la locomotive de Trevithick et Vivian sur le chemin de fer de Merthyr-Tydvil. — Erreur théorique sur la progression des locomotives. — Systèmes de MM. Blenkinsop, Chapman et Brunton. — Expériences de M. Blackett. — Progrès dans la construction des locomotives. — Découverte de la chaudière tubulaire, par M. Seguin. 299

CHAP. III. — Origine du chemin de fer de Liverpool à Manchester. — Adoption des machines locomotives pour le service de ce chemin. — Concours de locomotives à Liverpool. — La *Fusée* de Robert Stephenson. — Établissement définitif des chemins de fer dans la Grande-Bretagne et dans les autres parties de l'Europe. 312

CHAP. IV. — Description de la machine locomotive. 323

CHAP. V. — Inconvénients attachés à l'emploi des locomotives. — Nouveaux systèmes de chemins de fer. 335

CHAP. VI. — Chemin de fer atmosphérique. — Origine de sa découverte. — Emploi du vide pour le transport des lettres. — Système de M. Medhurst. — M. Vallance. — Travaux de MM. Clegg et Samuda. — Établissement du chemin de fer atmosphérique de Kingstown en Irlande. — Chemin de fer atmosphérique de Paris à Saint-Germain. 343

NOTES. 359

NOTE I. — Lettre de Pascal à son beau-frère Périer. 361

NOTE II. — Mémoire de Papin sur la machine atmosphérique. . . 364

NOTE III. — Nouveaux documents sur l'histoire de la découverte des bateaux à vapeur, par le professeur Kuhlmann, de Hanovre. 369

NOTE IV. — Texte du premier brevet de James Watt. 376

NOTE V. — Mémoire présenté à la Société royale de Nancy, sur la manière de suppléer à l'action du vent sur les vaisseaux, par M. Gautier, chanoine régulier. 378

NOTE VI. — Acte de notoriété de l'expérience faite à Lyon par le marquis de Jouffroy en juillet 1783. 382

NOTE VII. — Lettre de Robert Fulton aux citoyens Molard, Bandel et Montgolfier. 383

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES DU TOME PREMIER.

SBN 611923

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Google

Digitized by Google